ZAMANIN YENİDEN DOĞUŞU

Fizikteki Krizden Evrenin Geleceğine





TÜBİTAK

POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

Zamanın Yeniden Doğuşu

Fizikteki Krizden Evrenin Geleceğine

Lee Smolin



TÜBİTAK

POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları 813

Zamanın Yeniden Doğuşu

Fizikteki Krizden Evrenin Geleceğine

Time Reborn

From the Crisis in Physics to Future of the Universe

Lee Smolin

Çeviri: Bilge Tanrıseven

Redaksiyon: Gürsel Tanrıöver

Tashih: Salih Sinan Onuş

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları'nın seçimi ve değerlendirilmesi TÜBİTAK Kitaplar Yayın Danışma Kurulu tarafından yapılmaktadır.

ISBN 978 - 605 - 312 - 075 - 9

1. Basım Haziran 2017 (5000 adet)
Yayıncı Sertifika No: 15368

Genel Yayın Yönetmeni: Mustafa Orhan
Mali Koordinatör: Kemal Tan
Telif İşleri Sorumlusu: Zeynep Çanakcı

Yayıma Hazırlayan: Umut Hasdemir
Kapak Tasarımı ve Sayfa Düzeni: Ayşe Taydaş Battal
Basım İzleme: Özbey Ayrım - Murat Aslan

TÜBİTAK
Kitaplar Müdürlüğü
Akay Caddesi No: 6 Bakanlıklar Ankara
Tel: (312) 298 96 51 Faks: (312) 428 32 40
e-posta: kitap@tubitak.gov.tr
esatis.tubitak.gov.tr

Salmat Basım Yayıncılık Ambalaj San. ve Tic. Ltd. Şti.
Sebze Bahçeleri Cad. (Büyük Sanayi 1. Cad.) Arpacıoğlu İşhanı 95/1 İskitler Ankara
Tel: (312) 341 10 24 Faks: (312) 341 30 50 Sertifika No: 26062

Zamanın Yeniden Doğuşu

Fizikteki Krizden Evrenin Geleceğine

Lee Smolin

Çeviri

Bilge Tanrıseven

TÜBİTAK POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

Annem ve babam Pauline ile Michael'e

Paylaştığımız yolculuk için Roberto Mangabeira Unger'e teşekkürlerimle

İçindekiler

Zamanı geldiğinde, her şey olması gerektiği gibi birbirinden meydana gelir ve birbirine dönüşerek yok olur.

—ANAKSİMANDROS, *Doğa Üzerine*

Önsöz

ZAMAN NEDİR?

Basit görünen bu soru, aslında evrenin temellerini daha da derinlemesine incelerken bilimin karşı karşıya kaldığı en önemli sorundur. Fizikçilerin ve kozmologların karşılaştığı tüm gizemler (Büyük Patlama'dan evrenin geleceğine, kuantum fiziğinin bilmecelerinden kuvvetlerin ve parçacıkların birleştirilmesine kadar) sonunda zamanın doğasına gelip dayanmaktadır.

Bilimin ilerleyişine damgasını vuran şey yanılsamaların ortadan kaldırılmasıdır. Madde pürüzsüz görünür ama aslında atomlardan oluştuğu tespit edilmiştir. Atomlar görünürde bölünmezdir ama protonlar, nötronlar ve elektronlardan meydana geldikleri anlaşılmıştır. Protonlar ile nötronlar da kuark denilen daha da temel parçacıklardan oluşur. Güneş, Dünya'nın etrafında dönüyormuş gibi görünür ama gerçek bunun tam tersidir, hatta işin temeline indiğinizde her şeyin diğer her şeye göre hareket etmekte olduğu ortaya çıkar.

Zaman, günlük yaşantımızın her alanında kendini gösterir. Düşündüğümüz, hissettiğimiz ya da yaptığımız her şey bize zamanın varlığını hatırlatır. Dünyayı, hayatımızı oluşturan anların akışı biçiminde algılarız. Ancak hem fizikçiler hem de filozoflar uzun zamandır bize, zamanın en büyük yanılsama olduğunu söylüyor (ve birçok kişi de böyle düşünüyor).

Bilim insanı olmayan arkadaşlarıma zaman nedir diye sorduğumda, genellikle zamanın akışının yanıltıcı olduğunu ve aslında gerçek olan şeylerin (doğru, adalet, kutsal, bilimsel yasalar) zamanın dışında yer aldığını söylerler. Zamanın bir yanılsama

olduğu fikri, felsefi ve dinsel açıdan olağan bir görüştür. Binlerce yıl boyunca insanlar, sonunda zamanın dışında olan daha gerçek bir dünyaya kaçabilecekleri olasılığına inanarak yaşamın zorluklarına ve ölümlülüğe katlanabilmiştir.

En ünlü düşünürlerimizden bazıları zamanın gerçek olmadığını iddia eder. Antik dünyanın en büyük filozofu olan Platon da modern dünyanın en büyük fizikçisi Einstein da bize gerçekliğin zaman dışı olduğu bir doğa görüşü öğretmişti. Zamana ilişkin deneyimimizi insan olmamızdan kaynaklanan bir kaza, gerçeği bizden gizleyen bir kaza olarak görüyorlardı. İkisi de gerçeği ve doğruyu algılayabilmek için zaman yanılsamasının aşılması gerektiğine inanıyorlardı.

Ben de zamanın özünde gerçek olmadığına inanıyordum. Aslında fizikle ilgilenmeye başlamamın nedeni de gençliğimde çirkin ve yaşanması zor bulduğum zamana bağımlı insan dünyasının yerine saf, 'zaman dışı gerçekten' oluşan bir dünya koymak istememdi. Yaşım ilerledikçe insan olmanın aslında gayet güzel bir şey olduğunu keşfettim ve doğal sınırların dışına kaçışa yönelik bu ihtiyacım kayboldu.

Daha da önemlisi, artık zamanın gerçek olduğuna inanıyorum. Gerçekten de kaşı görüşe geçiş yaptım: Zaman gerçek olmakla kalmaz, zamanın gerçekliği aynı zamanda doğanın özüne bildiğimiz ya da deneyimlediğimiz her şeyden daha yakındır.

Böyle saf değiştirmemin sebebi bilimde, özellikle de fizik ve kozmoloji alanlarındaki çağdaş gelişmelerde yatmaktadır. Zamanın, kuantum kuramının anlaşılması ve bu kuramın ileride uzay, zaman, kütleçekimi ve kozmoloji ile birleştirilmesi açısından kilit önem taşıdığına inanır oldum. En önemlisi de kozmolojik gözlemlerin ortaya koyduğu evren resmine bir anlam verebilmek için zamanın gerçekliğini kabul etmemiz gerektiğine inanıyorum. Zamanın yeniden doğuşu ile kastettiğim işte bu.

Bu kitabın büyük kısmı, zamanın gerçekliğine inanmayı destekleyen bilimsel savı ortaya koymaktadır. Siz de zamanın bir yanılsama olduğuna inanan birçok kişiden biriyseniz fikrinizi değiştirmeyi amaçlıyorum. Eğer zaten zamanın gerçek olduğu-

na inanıyorsanız, size bu inancınız için daha iyi dayanaklar vermeyi umuyorum.

Bu, herkese yönelik bir kitaptır, çünkü herkesin dünyaya bakışını şekillendiren şey zamanı nasıl gördüğüdür. Zamanın anlamı hakkında hiç kafa yormamış olsanız bile düşünme biçiminiz, düşüncelerinizi ifade ettiğiniz dilin ta kendisi, zamana ilişkin eski metafizik fikirlerden olumsuz şekilde etkilenir.

Zamanın gerçek olduğu şeklindeki devrimsel görüşü benimsediğimizde ise diğer her şey hakkındaki düşünce biçimimiz de değişecektir. Özellikle de geleceği farklı bir biçimde, insanlığın karşı karşıya olduğu fırsatları da tehlikeleri de açıkça vurgulayan bir biçimde görmeye başlayacaksınız.

Bu kitaptaki hikâyenin küçük bir kısmı, zamanı yeniden keşfetmeye götüren kişisel yolculuğuma ilişkindir. Beni ilk harekete geçiren şeyi belki bilim diliyle değil de babalık diliyle özellikle de günün sonunda küçük oğlumu yatağına yatırırken onunla yaptığım konuşmalar aracılığıyla anlatmak daha iyi olabilir. Bir seferinde ona bir öykü okurken "Baba" diye sordu, "benim yaşımdayken adın benimkinin aynı mıydı?" Kendisinden önce bir zaman olduğu bilgisine uyanmakta olan ve o ana kadarki kendi kısa hayat hikâyesini daha uzun bir destana bağlamaya çalışan bir çocuktu bu.

Her yolculuktan alınabilecek bir ders vardır; benimki de zaman gerçektir şeklindeki basit bir ifadenin ne kadar radikal bir fikri gizlediğini fark etmek oldu. Bilim hayatıma zamanın ötesinde yer alan denklemi arayarak başlamıştım. Şimdi ise inanıyorum ki evrenin en derin sırrı, onun zaman içerisinde an be an nasıl geliştiğinde yatmaktadır.



Zaman hakkında düşünme biçimimiz bir paradoks barındırır. Kendimizi zamanın içerisinde yaşıyor olarak algılarız ama genellikle dünyamız ve kendimizle ilgili iyi şeylerin zamanın dışında olduğunu düşünürüz. İnanırız ki bir şeyi gerçekten doğ-

ru yapan, o şeyin yalnızca şu an doğru olması değil, geçmişte ve gelecekte daima doğru olmasıdır. Bir ahlak ilkesini mutlak hale getiren her zaman ve şartta geçerli olmasıdır. Bir şey değerli ise onun zamanın dışında var olduğu şeklinde kökleşmiş bir fikre sahibiz. "Sonsuz aşka" özlem duyarız. "Doğrunun" ve "adaletin" zaman dışı olduğundan bahsederiz. En çok hayranlık duyduğumuz, hürmet ettiğimiz şey her ne ise (Tanrı, matematiksel doğrular, doğa yasaları) ona zamanı aşan bir mevcudiyet layık görürüz. Zamanın içerisinde hareket eder ama eylemlerimizi zaman dışı standartlara göre değerlendiririz.

Bu paradoks nedeniyle, en değer verdiğimiz şeylerden yabancılaşmış durumda yaşıyoruz. Bu yabancılaşma tüm arzularımızı etkiler. Bilimde, deneyler ve bu deneylerin analizleri gibi doğaya ilişkin tüm gözlemlerimiz de zamana bağlıdır; buna rağmen zaman dışı doğa yasalarına ilişkin kanıtlar bulduğumuzu zannederiz. Bu paradoks bireyler, aile fertleri ve vatandaşlar olarak davranışlarımızı da etkiler, çünkü zamanı anlayış biçimimiz gelecek hakkında düşünme biçimimizi de belirler.

Bu kitapta, zamanın içerisinde yaşayıp zaman dışılığa inanma paradoksunu farklı bir şekilde çözmeyi umuyorum. Zamanın ve zaman akışının temel ve gerçek, zaman dışı doğrular ile zaman dışı âlemlere ilişkin umutların ve inançların ise mitolojiden ibaret olduğunu önereceğim.

Zamanı benimsemek, gerçekliğin yalnızca zamanın her bir anı içerisinde gerçek olan şeylerden oluştuğuna inanmak demektir. Bu, radikal bir fikirdir, çünkü bilim, ahlak, matematik veya yönetişim alanlarında zamanın dışındaki her tür mevcudiyeti veya doğruyu reddeder. Bütün bu alanlar, doğrularını zaman içerisinde ifade edecek şekilde yeniden bir kavrama oturtulmalıdır.

Ayrıca zamanı benimsemek, evrenin en temel seviyede nasıl işlediğine ilişkin ana varsayımlarımızın noksan olduğunu kabul etmek anlamına da gelir. İlerideki sayfalarda zamanın gerçek olduğunu öne sürerken şunları kastediyor olacağım:

- Evrenimizde gerçek olan her şey zamanda birbirini izleyen anlardan biri olan bir an içinde gerçektir.
- Geçmiş gerçekti ama artık gerçek değildir. Fakat şu an geçmişteki süreçlere ilişkin kanıtlar bulduğumuz için geçmişi yorumlayıp analiz etmemiz mümkündür.
- Gelecek henüz mevcut değildir ve dolayısıyla açıktır. Mantık çerçevesinde bazı öngörülerde bulunabiliriz ama geleceği tam olarak öngöremeyiz. Hatta gelecek, geçmişe ilişkin bilgilere dayanarak tahmin edilmesi mümkün olmayan, tamamen yeni olgular yaratabilir.
- Doğa yasaları da dâhil olmak üzere hiçbir şey zamanın dışına çıkamaz. Yasalar da zaman dışı değildir. Diğer her şey gibi onlar da şu anın bir özelliğidir ve zaman içerisinde evrim geçirebilir.

Bu kitapta, yukarıdaki hipotezlerin bizi temel fizikte yeni bir yola soktuğunu göreceğiz. Ben, bunun kuramsal fizik ve kozmolojinin önündeki çıkmazları aşmamızı sağlayacak tek yol olduğunu savunuyorum. Ayrıca bu hipotezlerin hayattan ne anlamamız, insanlığın karşısındaki zorluklarla nasıl başa çıkmamız gerektiği konusunda da bize söyleyecekleri var.

Zamanın gerçekliğinin hem bilim açısından hem de bilimin dışındaki konular bakımından neden bu kadar önemli olduğunu açıklarken zaman içerisinde düşünmekle zamanın dışında düşünmeyi karşılaştırmak hoşuma gidiyor. Doğrunun zaman dışı ve bir şekilde evrenin ötesinde olduğu fikri o kadar yaygındır ki Brezilyalı filozof Roberto Mangabeira Unger buna, "daimi felsefe" adını vermiştir. Platon felsefesinin özünde yatan bu fikre, *Menon*'da yer verilen, Sokrates'in tüm keşiflerin aslında birer anımsama olduğunu ileri sürdüğü köle çocuk ile karenin geometrisi hakkındaki kısa hikâye güzel bir örnek oluşturur.

Hakkında kafa yorduğumuz bir sorunun yanıtının, ebedi zaman dışı doğrular âleminde bir yerde bulunduğunu düşündüğümüzde, zamanın dışında düşünmüş oluruz. Konu ister nasıl da-

ha iyi bir ebeveyn, eş veya yurttaş olabileceğimiz olsun ister en iyi toplumsal organizasyon biçiminin hangisi olduğu, zamanın dışında, orada bir yerlerde keşfedilmeyi bekleyen değişmez bir doğru yanıt bulunduğuna inanırız.

Bilim insanları olarak görevimizi, yeni keşfedilen olguları açıklamak için yeni fikirlerin ve matematiksel yapıların bulunması olarak algıladığımızda zamanın içinde düşünüyoruz demektir. Zamanın dışında düşünürsek, bu fikirlerin biz onları bulmadan önce her nasılsa var olduklarına inanırız. Zamanın içinde düşündüğümüzde, böyle bir varsayımda bulunmak için bir neden görmeyiz.

Zamanın içinde ve dışında düşünmek arasındaki ayrım, insanların düşünce ve eylemlerine ilişkin birçok alanda göze çarpar. Teknolojik veya toplumsal bir sorunla karşılaştığımızda olası çözüm yollarının önceden var olan mutlak kategoriler halinde zaten belirlenmiş olduğunu varsayarsak zamanın dışında düşünmüş oluruz. Doğru iktisat ya da siyaset kuramının geçen yüzyıldan bir önceki yüzyılda kaleme alınmış olduğunu düşünen herkes zamanın dışında düşünmektedir. Aksine, siyasetin amacının toplum evrimleştikçe ortaya çıkan yeni sorunlara yeni çözümler bulmak olduğuna inanıyorsak zamanın içinde düşünüyoruz demektir. Teknoloji, toplum ve bilim alanlarında ilerlemenin hakikaten yeni fikirler, stratejiler ve toplumsal organizasyon biçimleri bulmak olduğunu kavradığımızda ve bunu yapabilme becerimize güvendiğimizde ise yine zamanın içinde düşünüyoruz demektir.

Çeşitli topluluklarımızın ve örgütlerimizin kısıtlamalarını, alışkanlıklarını ve bürokrasilerini sanki bunların var olmaları mutlak bir sebebe bağlıymış gibi sorgulamadan kabul edersek zamanın dışında düşünme tuzağına yakalanmış oluruz. İnsanlar tarafından oluşturulan bir organizasyona ait tüm özelliklerin tarihsel bir gelişim sonucunda ortaya çıktığını, dolayısıyla bunlara ilişkin her şeyin tartışmaya ve yeni yöntemlerin bulunmasıyla geliştirilmeye açık olduğunu kavradığımızda ise yeniden zamanın içinde düşünmeye başlamış oluruz.

Eğer fiziğin görevinin, evreni her yönüyle yansıtan zaman dışı bir matematik denklem keşfetmek olduğuna inanıyorsak, evrene ilişkin doğrunun evrenin dışında olduğuna inanıyoruz demektir. Bu, o kadar tanıdık ve alışkanlık haline gelmiş bir düşünce biçimidir ki ne kadar saçma olduğunu bir türlü fark edemeyiz: Eğer evren var olan her şey ise evreni betimlemekte kullanacağımız şey nasıl onun dışında kalabilir? Ama zamanın gerçek olduğunu kabul ettiğimizde dünyayı her yönüyle mükemmel biçimde yansıtan matematiksel bir denklem bulamayız, çünkü gerçek dünyanın hiçbir matematik denklemde mevcut olmayan bir yönü vardır: Dünya daima bir "an"ın içerisindedir.

Zamanın içinde düşünmenin prototipinin temelinde, zamanla gelişen doğal süreçlerin gerçekten de yeni yapılara yol açabileceğinin fark edilmesi yatar. Yeni yapıların oluşmasıyla bunlara ilişkin yeni yasaların ortaya çıkması bile mümkündür. Örneğin, cinsel seçilim ilkeleri cinsiyetlerin ortaya çıkmasından önce var olamazdı. Bu gibi dinamiklerin, olası tüm canlı hayvanlar, DNA dizilimleri, protein grupları veya biyolojik yasalar gibi geniş, soyut uzaylara ihtiyacı yoktur. Kuramsal biyolog Stuart A. Kauffmann'ın da önerdiği gibi, bu yaşamsal dinamikleri, "biyosferin bir sonraki adımda neler olabileceğini zamanla keşfetmesi" olarak görmek daha iyi olacaktır. Kaufmann bunlara "komşu olasılıklar" der. Aynısı teknolojilerin, ekonomilerin ve toplumların gelişimi için de geçerlidir.

Zamanın içerisinde düşünmek görecelilik değil, bir *ilişkisellik* biçimidir. İlişkisellik, bir şeyi en doğru biçimde betimlemek için o şey ile parçası olduğu sistemin diğer unsurları arasındaki ilişkiyi belirtmemiz gerektiğini söyleyen bir felsefedir. *Doğru,* eğer insan düşüncesi aracılığıyla ortaya çıkarıldığı anda varlık kazanan nesneler hakkındaysa, hem zamana bağlı hem de nesnel olabilir.

Kişisel düzeyde ise zamanın içerisinde düşünmek, hayattaki belirsizlikleri yaşamın zorunlu bedeli olarak kabul etmek demektir. Yaşamın tehlikelerine isyan etmek, belirsizliği reddetmek, riske hiç müsamaha göstermemek, yaşamın tehlikeyi tamamen ortadan kaldıracak şekilde düzenlenebileceğini hayal etmek

zamanın dışında düşünmektir. İnsan olmak, tehlikeler ile fırsatlar arasında yaşamak anlamına gelir.

Belirsiz bir dünyada başarılı olmak, sevdiğimiz kişi ve şeyleri korumak ve bu sırada da hayattan mümkün oldukça zevk almak için elimizden geleni yaparız. Planlar yaparız ama önümüzdeki tehlikeleri ya da fırsatları asla tam olarak kestiremeyiz. Budistler, yanmakta olduğunu henüz fark etmediğimiz bir evde yaşadığımızı söyler. Tehlike her an ortaya çıkabilir; avcı-toplayıcı toplumlarda tehlike daima mevcuttu ama modern yaşamımızı tehlikeleri nispeten ender kılacak şekilde düzenlemiş durumdayız. Sorun, sayısız olası tehlike içinden endişe etmeye değer olanları akıllıca seçebilmektir. Ayrıca her anın beraberinde getirdiği bütün o fırsatlar arasından bir sonraki adımın ne olacağına karar verebilmektir. Enerjimizi ve dikkatimizi nereye yönlendireceğimize karar veririz ve bunu yaparken sonuçların ne olacağını asla tam olarak bilemeyiz.

Elimizden daha iyisi gelir mi? Yaşamın kaprislerini yenmemiz ve her şeyi olmasa da en azından seçimlerimizin bütün sonuçlarını, hem tehlikeleri hem de fırsatları, öngörebileceğimiz bir duruma erişebilir miyiz? Yani tam anlamıyla akılcı, sürprizlerden uzak bir yaşam sürebilir miyiz? Zaman, bir yanılsama olsaydı, bunun mümkün olduğunu düşünebilirdik, çünkü zamanın zorunlu olmadığı bir dünyada, şu anı bilmek ile geleceği bilmek arasında temel bir fark bulunmayacak, yalnızca biraz hesap yapmak yetecekti. Bir sayıyı, bir formülü hesaplayıp deşifre ederek ihtiyacımız olan tüm bilgiye ulaşabilecektik.

Ancak eğer zaman gerçekse geleceği şu ana ilişkin bilgilere dayanarak belirleyemeyiz. İçinde bulunduğumuz durumdan kaçmak, eylemlerimizin yaratacağı sonuçların çoğunu bilmeden yaşamanın getirdiği sürprizlerden kurtulmak mümkün değildir. Sürpriz, doğanın yapısında vardır. Doğa, bize ne kadar bilgi sahibi olursak olalım hazırlanamayacağımız sürprizler yapabilir. Yenilik gerçektir. Hayal gücümüzle şu ana ilişkin bilgileri kullanarak hesaplanamayacak sonuçlar ortaya çıkarabiliriz. İşte bu yüzden zamanın gerçek olup olmadığı hepimiz için önemlidir: Bu so-

runun yanıtı, büyük kısmı hakkında bilgi sahibi olmadığımız bir evrende mutluluk ve anlam arayan kişiler olarak kendimize bakışımızı değiştirebilir. Sonsözde bu konulara geri dönerek zamanın gerçekliğinin iklim değişimi ve ekonomik kriz gibi sorunlar hakkında düşünmemize yardımcı olabileceğini ileri süreceğim.

Kitabın ana savına geçmeden önce birkaç tavsiyede bulunmak istiyorum.

Bu kitaptaki savları fizik veya matematik alanında altyapısı olmayan genel okuyucu kitlesinin anlayabileceği şekilde sunmaya çalıştım. Kitapta hiçbir denklem yer almamaktadır ve savlarımı takip edebilmek için bilmeniz gereken her şey açıklanmıştır. Temel hususlar mümkün olan en basit örneklerle anlatılmıştır. Daha karmaşık konulara doğru ilerledikçe akıllarının karışması halinde okurlara, bilim insanlarına öğretildiği gibi davranmalarını tavsiye ederim: daha kolay anladığınız bir yere gelene kadar atlayın ya da metni hızlıca gözden geçirin. Daha fazla ön bilgi isteyen okuyucular www.timereborn.com adresinde yer alan eklerden de yararlanabilir. Okur, aynı zamanda alıntıları, hem bilim insanı olmayan kişilere hem de uzmanlara yönelik faydalı yorumları ve bazı okurların ilgisini çekecek daha ayrıntılı incelemeleri içeren *Notlar* kısmına bakmayı da yararlı bulabilir.

Yasaların aşama aşama geliştiğini fark etmemle başlayıp görelilik, kuantum temelleri ve kuantum kütleçekimi ile yaptığım mücadelelerle geçen kendi zamana dönüş yolculuğum, yirmi yıldan uzun bir süre sonunda beni bu kitapta anlattığım görüşe getirdi. Birçok dostum ve meslektaşımla yaptığım işbirlikleri ve konuşmalar bu yoldaki ilerleyişimde önemli bir rol oynamıştır; bütün bunlar, kullandığım başkalarına ait sonuçlar ve fikirler ile birlikte *Teşekkür* ve *Notlar* kısmında ayrıntılı biçimde aktarılmıştır. Bu etkileşimlerin hiçbiri Roberto Mangabeira Unger ile yaptığımız ve kitabın ana savı ile takip eden kilit fikirlerin çoğunu formüle etmemizi sağlayan, verimli ve kışkırtıcı işbirliğinden daha önemli değildi.[1]

Okurlar zaman, kuantum kuramı, kozmoloji ve benzeri diğer konular hakkında burada ele alınmayan birçok bakış açısı

olduğunu bilmelidir. Temas ettiğim hususlara ilişkin fizikçiler, kozmologlar ve filozoflar tarafından kaleme alınmış çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Elinizdeki kitap, akademik bir kitap olma iddiasında değildir. Bu tartışma konusuyla ilk kez karşılaşan okurlara, önlerindeki engebeli araziyi aşarken tartışmanın odağında yer alan belli savları vurgulayan tek bir yol sunmayı tercih ettim.[2] Bir örnek vermek gerekirse Kant'ın burada bahsedilmeyen uzay ve zamana ilişkin görüşlerini inceleyen raflar dolusu eser vardır. Çağdaş filozofların bazı görüşlerinden de bahsetmeyeceğim. Bu eksiklikler için konu hakkında bilgi sahibi dostlarımdan özür diliyor ve ilgilenen okurları zamana ilişkin daha fazla kaynak önerileri içeren *Kaynakça*'ya yönlendiriyorum.

LEE SMOLIN

TORONTO, AĞUSTOS 2012

Giriş

Zamanın bir yanılsama olduğunu gösteren bilimsel deliller son derece inandırıcıdır. Zamanın gerçek olduğu görüşünü benimsemenin sonuçları, işte bu nedenle devrimsel niteliktedir.

Fizikçilerin zamanın aleyhinde topladığı delillerin merkezinde, fizik yasası dendiğinde ne anladığımız yatar. Bu hâkim görüşe göre, evrende meydana gelen her şey geleceğin şu andan nasıl adım adım gelişeceğini kesin bir biçimde saptayan bir yasa tarafından belirlenir. Bu yasa, mutlaktır ve şu anki koşullar bir kez belirlendikten sonra geleceğin nasıl gelişeceği konusunda herhangi bir serbestiye veya belirsizliğe yer yoktur.

Tom Stoppard'ın *Arkadia* adlı oyunundaki büyümüş de küçülmüş kahraman Thomasina'nın öğretmenine söylediği gibi: "Eğer her atomu bulunduğu konumda ve gittiği yönde dondurabilseydin ve eğer zihnin böyle donmuş tüm eylemleri kavrayabilseydi, o zaman, eğer cebirin de çok çok iyiyse tüm geleceğin formülünü yazabilirdin; hiç kimse o kadar zeki olamaz ama yine de formül, sanki öyle biri tarafından yazılmış gibi var olmalı." Kuramsal bir fizikçi olarak kendimi, işimin bu formülü bulmak olduğuna inanırdım; şimdiyse formülün varlığına olan inancımı, bilimsel bir inançtan çok mistik bir inanç olarak görüyorum.

Stoppard, çağdaş bir karakter için replik yazıyor olsaydı, Thomasina'ya evrenin bir bilgisayar gibi olduğunu söyletirdi. Fizik yasaları, yazılımı oluşturur. Bilgisayara girdi olarak evrendeki tüm temel parçacıkların şu anki konumlarını verdiğinizde, bilgisayar uygun bir süre boyunca hesap yapıp size tüm temel parçacıkların ilerideki bir zamanda bulunacakları konum-

ları gösteren çıktıyı verir. Bu doğa görüşü uyarınca olan biten tek şey parçacıkların zamanın dışında olan yasalara göre yeniden düzenlenmesinden ibarettir; yani bu yasalara göre, tıpkı şu anın geçmiş tarafından belirlenmiş olması gibi, gelecek de şu an tarafından tamamıyla belirlenmiştir.

Bu görüş, zamanın önemini birkaç biçimde azaltır.[1] Hiçbir sürpriz, gerçekten yeni hiçbir olgu gerçekleşemez, çünkü her şey atomların yeniden düzenlenmesinden ibarettir. Atomların özellikleri de onları kontrol eden yasalar da zamanın dışındadır; hiçbiri asla değişmez. Doğanın gelecekte sahip olacağı herhangi bir özelliğini, şu anki durumuna bakarak hesaplamak mümkündür. Yani zamanın akışının yerine hesaplamalar konulabilir, bu da geleceğin şu anın mantıksal bir sonucu olduğu anlamına gelir.

6. Bölüm'de anlatacağım gibi, Einstein'ın görelilik kuramları zamanın temel bir doğa betimlemesi açısından şart olmadığını gösteren güçlü savlar sunar. Görelilik, ısrarla, doğanın tüm tarihinin zaman dışı bir bütünlükten ibaret olduğunu söyler; şu an, geçmiş ve gelecek insan öznelliği haricinde hiçbir anlam taşımaz. Zaman, uzayın başka bir boyutundan ibarettir ve anların aktığını deneyimleme hissimiz, arkasında zaman dışı bir gerçeklik barındıran bir yanılsamadan başka bir şey değildir.

Bu iddialar, dünya görüşünde özgür iradeye veya insan unsuruna yer veren herkese korkunç görünecektir. Bu tartışmaya burada girmeyeceğim; benim zamanın gerçekliğine ilişkin savunmam tamamen bilime dayanmakta. Benim işim, geleceğin önceden belirlendiğini söyleyen olağan savların neden bilimsel açıdan yanlış olduğunu açıklamak olacak.

I. Kısım'da zamanın bir yanılsama olduğu inancını destekleyen bilimsel görüşü sunacağım. II. Kısım'da ise bu savları yıkacak ve temel fizik ile kozmolojinin karşı karşıya kaldığı krizleri aşmak için neden zamanın gerçek kabul edilmesi gerektiğini göstereceğim.

I. Kısım'daki savları bir çerçeveye oturtmak için Aristoteles ile Batlamyus'tan başlayıp Galileo, Newton ve Einstein'dan geçerek çağdaş kuantum kozmologlarına kadar gelen süreç içe-

risinde fizikte kullanılan zaman kavramlarının gelişimini takip edecek ve fizik ilerledikçe zaman kavramımızın nasıl adım adım önemini yitirdiğini göstereceğim. Hikâyeyi bu şekilde anlatmak, bilim insanı olmayanların savları anlayabilmek için ihtiyaç duyacağı bilgileri yavaş yavaş tanıtmama da olanak tanıyacak. Aslında kilit noktaları serbest düşüşteki top ve yörüngede dolanan gezegen örnekleriyle aktarmak mümkün. Zamanın yeniden bilimin merkezine dâhil edilmesi gerektiğine ilişkin sav yakın dönemdeki gelişmeler sonucunda ortaya çıktığı için, II. Kısım daha çağdaş bir hikâye anlatıyor.

Savım basit bir gözlemle başlıyor: Newton'dan günümüze kadarki bilimsel kuramların başarısı, Newton tarafından ortaya atılan belirli bir açıklama çerçevesini kullanmalarına dayanır. Bu çerçeve, doğanın, hareketleri ve etkileşimleri zaman dışı yasalarca belirlenen, zaman dışı özelliklere sahip parçacıklardan ibaret olduğunu kabul eder. Parçacıkların kütleleri ve elektrik yükleri gibi özelikleri de parçacıklara etki eden yasalar da asla değişmez. Bu çerçeve evrenin küçük parçalarını betimlemek için idealdir, ancak *tüm evren için uygulamaya çalıştığımızda darmadağın olur.*

Önemli fizik kuramlarının tümü, bir radyo, havaya atılan bir top, biyolojik bir hücre, Dünya, bir gökada gibi, evrendeki küçük parçalarla ilgilidir. Evrenin bir parçasını betimlediğimizde, kendimizi ve ölçüm cihazlarımızı sistemin dışında tutarız. İncelediğimiz sistemi seçerken ya da hazırlarken oynadığımız rolü dikkate almayız. Sistemin nerede olduğunu belirlemeye yarayan referansları ihmal ederiz. Zamanın doğasına duyduğumuz ilgi açısından en önemlisi de sistemdeki değişiklikleri ölçmede kullandığımız saatleri unuturuz.

Fiziği, kozmolojiyi kapsayacak şekilde genişletmeye yönelik çabalar, beraberinde yeni düşünce biçimleri gerektiren yeni sorunları da getirmektedir. Kozmolojik bir kuram hiçbir şeyi dışarıda bırakamaz. Eksiksiz olabilmesi için gözlemciler olarak kendimiz de dâhil olmak üzere, evrendeki her şeyi dikkate almak zorundadır. Ölçüm cihazlarımızı ve saatlerimizi dikkate almalıdır. Kozmoloji bizi yeni bir durumla karşı karşıya bırakır: Üzerinde

çalıştığımız sistem tüm evren olduğunda, bu sistemin dışına çıkmamız mümkün değildir.

Ayrıca kozmolojik bir kuram, bilimsel yöntemin iki önemli özelliğinden yararlanamayacaktır. Bilimin temel kurallarından biri, sonuçtan emin olmak için bir deneyin birçok kez tekrarlanması gerektiğini söyler. Ama bütün evren söz konusu olduğunda bunu yapamayız –evren yalnızca bir kere meydana gelmiştir. Sistemi farklı şekillerde hazırlayıp sonuçları incelememiz de mümkün değildir. Bunlar, tüm evren düzeyinde bilim yapmayı oldukça zor bir hale getiren, son derece gerçek engellerdir.

Yine de fiziği, kozmoloji bilimini de kapsayacak şekilde genişletmeyi arzu ediyoruz. İlk aklımıza gelen şey evrenin küçük parçalarına uyguladığımızda gayet iyi işleyen kuramları alıp bunları tüm evreni betimleyecek şekilde genişletmektir. 8. ve 9. Bölümlerde de göstereceğim gibi, bu yaklaşımın işe yaraması mümkün değildir. Zaman dışı özelliklere sahip parçacıklar üzerinde etki eden zaman dışı yasalardan oluşan Newtoncu çerçeve, tüm evreni betimleme görevine uygun değildir.

Gerçekten de ileride ayrıntılı bir şekilde de göstereceğim gibi, bu tür kuramların evrenin küçük parçalarına uygulandıklarında başarılı olmasını sağlayan özellikleri, söz konusu kuramları tüm evrene uygulamaya kalktığımızda aynı zamanda onların çökmesine de neden olur.

Bu iddianın birçok meslektaşımın uygulamalarına ve umutlarına aykırı düştüğünün farkındayım ama okurdan yalnızca II. Kısım'da yapacağım savunmaya çok dikkat etmesini rica ediyorum. Orada, standart kuramlarımızı genişleterek kozmolojik kuramlara dönüştürmeye çalıştığımızda ikilemler, paradokslar ve yanıt verilemeyen sorularla karşılaştığımızı hem genel olarak gösterecek hem de belirli örneklerle açıklayacağım. Bunlardan biri, hiçbir standart kuramın evrenin başlangıç safhasında yapılan seçimleri (başlangıç koşullarına ve doğa yasalarına ilişkin seçimleri) izah edememesidir.

Çağdaş kozmoloji literatürünün bir kısmı, çok zeki insanların bu ikilemler, paradokslar ve yanıtlanamayan sorularla mücade-

le etme çabalarından oluşur. Evrenimizin geniş ya da sonsuz bir çoklu evrenin parçası olduğu görüşü popülerdir. Bu görüş içine kolaylıkla düşülebilecek yöntemsel bir hatadan kaynaklandığından bir ölçüde normal karşılanabilir. Mevcut kuramlarımız, ancak evrenimizin daha geniş bir sisteme ait bir alt sistem olması halinde evren seviyesinde işleyebilmektedir. Bu yüzden de kurgusal bir ortam yaratıp bunu başka evrenlerle dolduruyoruz. Bu sürecin gerçek bir bilimsel ilerlemeye yol açması mümkün değildir, çünkü kendi evrenimizle aralarında nedensellik bağı olmayan evrenlere ilişkin herhangi bir hipotezi doğrulamamız ya da çürütmemiz olanaksızdır.[2]

Bu kitabın amacı, başka bir yol önermektir. Geçmişe bir sünger çekmeli ve tüm evrene uygulanabilecek yeni tür bir kuram arayışına girmeliyiz. Karışıklık ve paradokslardan kaçınan, yanıtlanamayan soruları yanıtlayan ve kozmolojik gözlemlere yönelik hakiki fiziksel öngörüler üreten bir kuram olmalı bu.

Elimde böyle bir kuram yok ama arama çalışmalarını yönlendirecek bir dizi ilke önerebilirim. Bu ilkeler 10. Bölüm'de verilmiştir. Onu izleyen bölümlerde, söz konusu ilkelerin gerçek bir kozmolojik kurama giden yolu gösteren yeni hipotezlere ve evren modellerine nasıl ilham verebileceğini örneklerle açıklayacağım. Temel ilkeye göre zaman gerçek olmalıdır ve fizik yasaları da bu gerçek zaman içerisinde evrimleşmelidir.

Yasaların evrimleştiği fikri de kozmoloji biliminin bu tür yasalara ihtiyaç duyacağı fikri de yeni değildir.[3] Amerikalı filozof Charles Sanders Peirce, 1891'de şöyle yazmıştı:

> Evrensel doğa yasalarının akıl tarafından kavranabileceğini, ancak bu yasaların aldıkları özel biçimlerin herhangi bir nedeni olmadığını, açıklanamaz ve mantık dışı olduklarını düşünmek, kolay kolay savunulabilecek bir görüş değildir. Düzenli olgular tam da açıklama gerektiren olgulardandır… Yasalar, bir nedeni olması gereken şeylerin başında gelir.

O halde, doğa yasalarını ve genel olarak düzenli olguları açıklayabilmenin tek olası yolu, bunların evrimin bir sonucu olduğunu kabul etmektir."[4]

Çağdaş filozof Roberto Mangabeira Unger, daha yakın bir tarihte şöyle demiştir:

Şu anki evrene ait özelliklerin izini sürerek evrenin başlangıçta sahip olması gereken özelliklerini bulabilirsiniz. Ama bunların herhangi bir evrenin sahip olabileceği yegâne özellikler olduğunu gösteremezsiniz... Daha önceki veya daha sonraki evrenler tamamen farklı yasalara sahip olabilir... Doğa yasalarını ifade etmek, tüm olası evrenlerin tüm olası hikâyelerini betimlemek ya da açıklamak anlamına gelmez. Yasayı andıran bir açıklama yapmakla, bir kez gerçekleşen tarihsel bir olaylar zincirini anlatmak arasında yalnızca göreli bir ayrım vardır."[5]

Einstein ve Niels Bohr ile birlikte 20. yüzyılın en önemli fizikçilerinden biri kabul edilen Paul Dirac şöyle düşünüyordu: "Zamanın başlangıcında Doğa yasaları muhtemelen şimdikinden çok farklıydılar. Bu nedenle, Doğa yasalarının uzay-zaman boyunca hep aynı kaldığını değil, çağdan çağa sürekli bir değişim içinde olduğunu kabul etmeliyiz."[6] Büyük Amerikalı fizikçilerden John Archibald Wheeler da yasaların evrimleştiği kanısındaydı. Büyük Patlama'yı, fizik yasalarının yeniden işlenmesini sağlayan bir dizi olaydan biri olarak görüyordu. Ayrıca şöyle yazmıştır: "Hiçbir yasanın olmadığını söyleyen yasanın haricinde hiçbir yasa yoktur."[7] Büyük Amerikalı fizikçilerden bir diğeri ve Wheeler'ın öğrencisi olan Richard Feynman da kendisiyle yapılan bir röportajda şöyle demişti: "Evrim olasılığını dikkate almayan tek alan fiziktir. Yasalar işte şunlar, deriz... ama zaman içerisinde bu yasalar nasıl o şekli almıştır?.. Yani her zaman aynı [yasalar] olmadıkları ve tarihsel, evrimsel bir sürecin söz konusu olduğu ortaya çıkabilir."[8]

1997'de yazdığım *Evrenin Yaşamı* adlı kitabımda, yasaların evrimine ilişkin olarak biyolojik evrim temelinde modellediğim bir mekanizma önermiştim.[9] Evrenlerin, kara deliklerin içerisinde bebek evrenler oluşturarak çoğalabileceğini farz etmiş ve her seferinde fizik yasalarının biraz değiştiğini öne sürmüştüm. Bu kuramda, yasalar biyolojideki genlerin rolünü oynamaktadır; nasıl ki organizmalar sahip oldukları genlerin birer ifadesi ise evrenler de doğumları sırasında seçilen yasaların birer ifadesi olarak görülmektedir. Genler gibi yasalar da bir nesilden diğerine rastlantısal biçimde mutasyona uğrayabilir. Sicim kuramının o dönemde henüz yeni ortaya koyduğu sonuçlardan ilham alarak, temel bir birleşik kuram arayışının tek bir Her Şeyin Kuramında değil, muazzam bir olası yasalar uzayında son bulacağını düşünmüştüm. Buna, uyumluluk sahaları üzerinde çalışan popülasyon genetiğinden bir terim ödünç alarak, kuramlar sahası adını verdim. Bu konu 11. Bölüm'de incelendiğinden burada daha fazla üzerinde durmayacağım. Yalnızca şunu söylemek istiyorum: kozmolojik doğal seçilim kuramı tarafından ortaya atılan birkaç öngörü, geçen yıllarda onları çürütmeye yönelik bazı fırsatlar çıkmasına rağmen ayakta kalmayı başarmıştır.

Son on yılda çoğu sicim kuramcısı, kuramlar sahası yaklaşımını benimsemiştir. Sonuç olarak, evrenin uyacağı yasaları nasıl seçtiği sorusu özellikle önem kazanmıştır. Bunun, yalnızca zamanın gerçek olduğu ve yasaların evrim geçirdiği yeni bir kozmoloji çerçevesi dâhilinde yanıtlanabilecek sorulardan biri olduğunu savunacağım.

O halde, yasalar evrene dışarıdan dayatılmamaktadır. Kutsal ya da matematiksel hiçbir dış varlık doğa yasalarının hangileri olacağını önceden belirlemez. Aynı zamanda doğa yasaları da evrenin harekete geçmesini zamanın dışında bir yerlerde öyle sessizce durup beklemez. Aksine doğa yasaları evrenin içinde ortaya çıkar ve zaman içerisinde, betimledikleri evren ile birlikte evrimleşir. Aynı biyolojide olduğu gibi, evren tarihi boyunca yeni olgular ortaya çıktıkça onları düzenleyen yeni fizik yasalarının oluşması bile mümkündür.

Bazı kişiler ebedi yasaları reddetmeyi bilimin hedeflerinden uzaklaşma olarak görebilir. Bense bunu, doğruyu arayışımızı yavaşlatan gereksiz metafizik yüklerin atılması olarak görüyorum. İlerideki bölümlerde, zamanla evrimleşen yasalar fikrinin bizi daha bilimsel bir kozmolojiye, yani deneysel testlere tâbi daha fazla sayıda öngörü üreten bir kozmolojiye, nasıl götüreceğini örneklerle açıklayacağım.



Bildiğim kadarıyla Bilim Devrimi'nden günümüze, tüm evreni kapsayan bir kuramın nasıl oluşturulabileceği hakkında uzun uzadıya düşünen ilk bilim insanı, diğer özelliklerinin yanı sıra diferansiyel ve integral hesabını ilk kimin bulduğuna ilişkin tartışmada Newton'un rakibi olmasıyla da tanınan Gottfried Wilhelm Leibniz'dir. Leibniz, ayrıca modern mantık dalını da öngörmüş, ikili sayılar sistemini geliştirmiş ve başka birçok konuda katkıda bulunmuştur. Gelmiş geçmiş en zeki insan olduğu söylenir. Kozmolojik kuramları bir çerçeveye oturtmak için Leibniz, evrenin yaratılışı sırasındaki her görünür seçimin rasyonel bir nedeni olması gerektiğini söyleyen *yeterli neden ilkesi* adında bir ilke formüle etmişti. "Evren neden Y değil de X şeklindedir?" türündeki her sorunun bir yanıtı olmalıdır. Yani eğer dünyayı bir Tanrı yarattıysa, evrenin şablonunu istediği gibi seçmiş olamazdı. Leibniz'in ilkesi fiziğin günümüze kadar olan gelişimi üzerinde derin bir etki yapmıştır ve ileride de göreceğimiz gibi, kozmolojik bir kuram geliştirme çabalarımız açısından da bir rehber olarak güvenilirliğini korumaktadır.

Leibniz'in dünya görüşünde her şey uzayda değil bir ilişkiler ağı içerisinde yer alır. Uzay, bu ilişkileri değil, ilişkiler uzayı tanımlar. Günümüzde birbirine bağlı, bir ağ içerisinde yer alan varlıklardan oluşan bir evren fikri, modern fiziğin yanı sıra biyoloji ve bilgisayar biliminde de yaygındır.

İlişkisel bir dünyada (ilişkilerin uzaydan önce geldiği bir dünyaya, ilişkisel dünya deriz) içinde bir şey barındırmayan bir uzay

yoktur. Newton'un uzay kavramı ise bunun tam aksiydi, çünkü o, uzayı mutlak görüyordu. Bu, atomların uzayda bulundukları konumlarla tanımlandığı, ancak uzayın atomların hareketlerinden kesinlikle etkilenmediği anlamına gelir. İlişkisel bir dünyada böyle asimetriler yoktur. Nesneleri birbirleri arasındaki ilişkiler tanımlar. Bireyler vardır ve kısmen özerk olabilirler ama sahip oldukları olasılıkları belirleyen içinde bulundukları ilişkiler ağıdır. Bireyler, onları ağ içerisinde birleştiren bağlar aracılığıyla birbiriyle karşılaşır ve birbirini algılar; ağlar dinamiktir ve sürekli evrim halindedir.

3. Bölüm'de de açıklayacağım gibi, Leibniz'in büyük ilkesinden çıkan sonuç, dünyada ne olursa olsun körü körüne akıp giden mutlak bir zaman olamayacağıdır. Zaman, değişimin bir sonucu olmalıdır; doğada değişim olmadan zaman da olamaz. Filozoflar, zamanın ilişkisel olduğunu söyler: Zaman, değişimi yöneten nedensellik benzeri ilişkilerin bir boyutudur. Aynı şekilde, uzay da ilişkisel olmalıdır; hatta doğadaki bir nesnenin tüm özellikleri, o nesneyle doğadaki diğer şeyler arasındaki dinamik[10] ilişkilerin bir yansıması olmalıdır.

Newton fiziğinin temel fikirlerine aykırı olması nedeniyle Leibniz'in ilkelerinin değerinin bilim insanları tarafından tam olarak anlaşılması biraz zaman aldı. Leibniz'in mirasını kabul eden Einstein olmuş ve Newton fiziğini tahtından indirip yerine Leibniz'in ilişkisel uzay ve zaman görüşünü somutlaştırma yolunda büyük yol kat eden bir uzay, zaman ve kütleçekim kuramı olan genel görelilik kuramını koyarken temel motivasyonunu Leibniz'in ilkelerinden almıştır. Bu ilkeler, aynı zamanda kuantum devriminde de farklı bir şekilde hayata geçirilmiştir. Ben, 20. yüzyılda fizikte gerçekleşen devrimi, ilişkisel devrim olarak adlandırıyorum.

Fiziği birleştirme ve özellikle de kuantum kuramı ile genel görelilik kuramını tek bir çerçeve altında toplama sorunu, aslında büyük oranda fizikteki ilişkisel devrimi tamamlama görevi olarak görülebilir. Bu kitabın temel mesajı, bunu yapabilmek için zamanın gerçek olduğu ve yasaların evrim geçirdiği fikrini benimsemenin şart olduğudur.

İlişkisel devrim, diğer bilim dallarında zaten son derece etkindir. Bunlardan biri, biyolojideki devrimdir; bu devrim, hem türlerin ortamdaki diğer tüm organizmalarla aralarındaki ilişkilere göre belirlendikleri görüşünde hem de bir genin etkisinin yalnızca bu etkiyi düzenleyen genler ağı bağlamında belirlendiği düşüncesinde kendisini gösterir. Hızla fark etmeye başlıyoruz ki biyoloji, bilgi hakkındadır; bilgi de bir haberleşme kanalının iki ucunda yer alan gönderici ile alıcı arasındaki ilişkiye dayandığı için ondan daha ilişkisel bir kavram bulmak zordur.

Toplumsal alanda, Dünya'nın özerk bireylerden oluştuğunu söyleyen liberal görüşe (ki filozof John Locke tarafından arkadaşı Isaac Newton'ın fiziğine paralel olarak geliştirilmiştir) toplumun yalnızca kısmen özerk, yaşamları sadece bir ilişkiler yumağı içerisinde anlam kazanan, birbirine bağımlı bireylerden oluştuğunu söyleyen bir başka görüş meydan okumaktadır. İçine yeni düştüğümüz bu yeni bilgi halesi, ilişkisellik fikrini bir ağ benzetmesinden yararlanarak ifade eder. Sosyal varlıklar olarak, kendimizi bir ağın düğüm noktaları olarak görürüz; bizi belirleyen de bu ağdaki bağlantılardır. Günümüzde birbirine bağlı, bir ağ içerisinde yer alan varlıklardan oluşan bir toplumsal sistem fikri, feminist siyaset filozoflarından yönetici önderlere kadar pek çok kişi tarafından ortaya atılan toplumsal kuramlarda giderek artan bir şekilde göze çarpmaktadır. Acaba kaç Facebook kullanıcısı toplumsal yaşamlarının artık güçlü bir bilimsel fikir tarafından düzenlendiğini söyleyebilir?

Şimdiden epeyce yol almış olmakla birlikte, ilişkisel devrimin aynı zamanda bir kriz içerisinde olduğu da açıktır. Bazı cephelerde yerinde saymaktadır. Kriz içerisinde olduğu her alanda, ciddi biçimde tartışılan üç tip soru olduğunu görüyoruz. Sistemi oluşturan unsurlar nedir? Yeni tür sistemler ve varlıklar nasıl ortaya çıkar? Evrenin bütününü faydalı olacak biçimde nasıl anlayabiliriz?

Bu bulmacaların kilidi şudur: sistemi oluşturan unsurlar da sistemler de tüm evren de tek başına var olan şeyler biçiminde düşünülemez. Zaman içerisinde işleyen süreçler, hepsini birbiriyle birleştirmiştir. Bütün bunları zaman içerisinde gelişen sü-

reçler olarak görmezsek, bu soruların hiçbirisine yanıt veremeyiz. İlişkisel devrimin başarılı olabilmesi için zaman kavramı ile şimdiki an kavramını gerçekliğin temel bir parçası olarak benimsemesi gerektiğini savunacağım.

Eski düşünce biçiminde sistemi oluşturan unsurlar o sistemin en ufak birimlerinden ibaretti ve bir sistemin nasıl çalıştığını anlamak istediğinizde o sistemi parçalayıp bu parçaların nasıl davrandığını incelerdiniz. Ama en temel unsurların özelliklerini nasıl anlayacağız? Bu unsurların parçaları yoktur, dolayısıyla indirgemecilik (söz konusu yönteme verilen isim) bizi daha ileri götürmez. Atomik bakış açısının bu konuda daha ileri gidebileceği bir yer yoktur; o da tam anlamıyla çamura saplanmıştır. Bu durum, emekleme aşamasındaki ilişkisel program için mükemmel bir fırsattır çünkü ilişkisel program temel parçacıkların özelliklerini parçacıklar arasındaki ilişkiler ağına bakarak açıklamaya çalışabilir ve böyle yapması da gerekir.

Şimdiye kadar geliştirilen birleşik kuramlarda bu zaten gerçekleşmektedir. Şu anda temel parçacıklara ilişkin elimizdeki en iyi kuram olan Standart Parçacık Fiziği Modeli'nde, bir elektrona ait kütle vb. özellikler, elektronun içinde yer aldığı etkileşimler sayesinde dinamik olarak belirlenir. Bir parçacığın sahip olabileceği en temel özellik, hareketinde değişiklik ortaya çıkarmak için ne kadar kuvvet gerektiğini belirleyen kütlesidir. Standart Modelde, tüm parçacıkların kütleleri diğer parçacıklarla olan etkileşimlerinden kaynaklanır ve esasen bir parçacık – Higgs parçacığı– tarafından saptanır. Artık mutlak "temel" parçacıklar yoktur; bir parçacık gibi davranan her şey bir ölçüde, bir ilişkiler ağının beliren sonuçlarından biridir.

Belirme, ilişkisel dünyada önemli bir terimdir. Parçalardan oluşan bir şeye ait bir özelliğin o parçalardan birinden kaynaklanması akla uygun değilse, bu özelliğin beliren bir özellik olduğu söylenir. Taşlar serttir, su ise akar ama bunları oluşturan atomlar ne katıdır ne de ıslak. Beliren bir özellik genellikle yaklaşık olarak geçerlidir çünkü birçok ayrıntıyı göz ardı eden ortalama ya da üst düzey bir betimlemeyi ifade eder.

Bilim ilerledikçe, doğanın bir zamanlar temel kabul edilen özelliklerinin aslında beliren ve yaklaşık özellikler olduğu ortaya çıkmıştır. Eskiden katıların, sıvıların ve gazların maddenin temel halleri olduğunu düşünüyorduk; şimdi ise bunların her şeyi oluşturan atomların farklı dizilişleri olarak düşünebileceğimiz *beliren özellikler* olduğunu biliyoruz. Artık önceden temel olduğu sanılan birçok doğa yasasının beliren ve yaklaşık özellikler olduğu anlaşılmıştır. Sıcaklık rastgele hareket halindeki atomların ortalama enerjisinden ibarettir, yani sıcaklığa ilişkin termodinamik yasaları beliren ve yaklaşık özellikleri yansıtır.

Ben, eninde sonunda günümüzde temel addettiğimiz hemen her şeyin beliren ve yaklaşık olduğunun anlaşılacağına inanıyorum: kütleçekimi ile onu düzenleyen Newton ve Einstein yasaları, kuantum mekanik yasaları, hatta uzayın kendisi de dâhil.

Aramakta olduğumuz temel fizik kuramı, uzayda hareket eden şeyler hakkında olmayacak. Temel kuvvetler olarak kütleçekimini veya elektriği ya da manyetizmayı içermeyecek. Bu kuram kuantum mekaniği olmayacak. Bütün bunlar, evrenimiz yeterli büyüklüğe eriştiğinde yaklaşık kavramlar olarak belirecek.

Eğer uzay beliriyorsa, bu zamanın da belirdiği anlamına mı gelir? Doğanın temellerinde yeterince derine indiğimizde zaman ortadan kaybolur mu? Geçen yüzyılda geldiğimiz noktada, çoğu meslektaşımın görüşüne göre zaman, onu içermeyen daha temel bir doğa betimlemesine dayanarak beliren bir özelliktir.

Bir insanın, bilime olan inancı ne kadar güçlüyse, benim de meslektaşlarımın yanıldığına olan inancım o kadar güçlüdür. Zamanın günlük deneyimlerimizin *gerçekten* temel olan tek boyutu olduğu ortaya çıkacaktır. Daima bir an içerisinde olduğumuzu algılamamız ve bu anı bir anlar dizisinin bir parçası olarak deneyimlememiz bir yanılsama değildir. Temel gerçekliğe ilişkin elimizdeki en iyi ipucudur.

1

AĞIRLIK:

Zamanın Sürülmesi

Düşmek

Bu ya da başka bir keşif yolculuğuna çıkmadan önce Heraklitos'un önerisine kulak versek iyi olur. Yunan düşünür Heraklitos, insanlığın bilim adındaki bu destansı maceraya doğru daha ilk adımlarını attığı dönemde bizi, "Doğa saklanmayı sever" diye uyarma bilgeliğini göstermişti. Gerçekten de öyledir; bilimin günümüzde temel kabul ettiği çoğu kuvvetin ve parçacığın geçen yüzyıla kadar atomun içerisinde saklı kaldığını unutmayın. Heraklitos'un çağdaşlarından bazıları atomlardan bahsetmişti ama gerçekten var olup olmadıklarını bilmiyorlardı. Ortaya attıkları kavram da yanlıştı, çünkü atomun bölünmez olduğunu düşünüyorlardı. Bilim insanlarının arayı kapatıp maddenin atomlardan oluştuğu konusunda fikir birliğine varması ancak Einstein'ın 1905'teki makaleleri ile gerçekleşti. Altı yıl sonra da atomun kendisi parçalandı. Atomların içlerinin açılması ve orada saklı dünyaların keşfi böylece başlamış oldu.

Doğanın bu saklanma özelliğinin en büyük istisnası kütleçekimidir. Kütleçekimi, etkileri herhangi bir özel cihaza gerek duymadan herkes tarafından gözlemlenebilen tek temel kuvvettir. Hayattaki ilk kavgamız ve yenilgimiz kütleçekimine karşıdır. Dolayısıyla kütleçekimi, insanoğlu tarafından adı konulan ilk doğal olgular arasında olsa gerektir.

Yine de bilimin ortaya çıkışına kadar, sıradan *düşme* deneyiminin kilit yönleri gözlerimizin önünde olmalarına rağmen gizli kalmıştır ve çoğu halen gizlidir. Daha sonraki bölümlerde de göreceğimiz gibi, kütleçekiminin gizli kalan yönlerinden biri, zamanla olan ilişkisidir. Bu yüzden zamanın keşfi için çıktığımız bu yolculuğa, düşme ile başlayacağız.



"Ben neden uçamıyorum baba?"

Terasta durmuş üç kat aşağıdaki arka bahçeye bakıyorduk.

"Buradan atlayıp şu kuşlar gibi bahçedeki anneme uçayım mı?"

"Kuş", ilk söylediği söz olmuştu, penceresinin önündeki ağaçta uçuşan serçelere sesleniyordu. İşte size ebeveyn olmanın temel ikilemi: Çocuklarımızın, bizi aşmaları için kendilerini özgür hissetmelerini isteriz ama bu belirsiz dünyada güvenliklerinden de endişe etmeden duramayız.

Ona kesin bir dille insanların uçamayacağını ve asla uçmayı denememesi gerektiğini söyledim, o da ağlamaya başladı. Dikkatini dağıtmak için fırsattan istifade ona kütleçekimini anlattım. Bizi, Dünya üzerinde tutan kütleçekimidir. Bizler de geri kalan her şey de kütleçekimi yüzünden düşeriz.

Beklediğim gibi, ağzından çıkan bir sonraki söz, "Neden?" oldu. Bir olguya isim vermenin onu açıklamak anlamına gelmediğini üç yaşındaki bir çocuk bile bilir.

Ama cisimlerin *nasıl* düştüğünü görmek için bir oyun oynayabilirdik. Bir süre sonra her tür oyuncağı bahçeye atıyor, hepsinin aynı şekilde düşüp düşmediğini görmek için "deneyler" yapıyorduk. Kısa sürede kendimi üç yaşındaki bir zihnin yeteneklerini aşan bir soruyu düşünürken buldum. Bir cismi fırlattığımızda, bu cisim düşerek bizden uzaklaşırken uzayda bir eğri çizer. Nasıl bir eğridir bu?

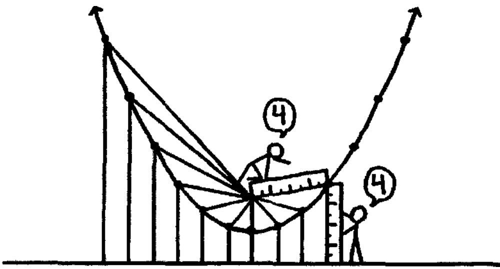
Bu sorunun üç yaşındaki bir çocuğun aklına gelmemesi şaşırtıcı değildir. Kendimizi epey uygar görmeye başladıktan sonra bile binlerce yıl boyunca bu sorunun önemli bir soru olarak ka-

bul edilmediği anlaşılmaktadır. Görüldüğü kadarıyla Platon ve antik çağın bazı diğer büyük filozofları, etraflarına düşen cisimleri seyretmekle yetinip bu cisimlerin belirli bir eğri izleyip izlemediğini hiç merak etmemiştir. Düşen cisimlerin izlediği yollar hakkında kafa yoran yegâne eski çağ filozofu Aristoteles ise yanlışlığı kolaylıkla kanıtlanabilecek olmasına rağmen bin yıldan uzun bir süre boyunca körü körüne inanılan bir yanıt vermiştir.

Düşen cisimlerin izlediği yolları doğru bir şekilde kavrayan ilk kişi, 17. yüzyılın başlarında İtalyan Galileo Galilei olmuştur. Bulgularını yetmişli yaşlarında, engizisyon tarafından ev hapsine alınmışken yazdığı *İki Büyük Dünya Sistemi Hakkında Diyalog* adlı eserinde yayınlamıştır. Bu kitapta, düşen cisimlerin her zaman aynı türden bir eğri, bir parabol izlediğini bildirir.

Galileo, nesnelerin nasıl düştüğünü keşfetmekle kalmamış, bu keşfinin açıklamasını da yapmıştır. Düşen cisimlerin parabol çizmeleri, doğrudan doğruya, yine ilk kez Galileo tarafından gözlemlenen başka bir olgunun, fırlatılan veya bırakılan tüm nesnelerin sabit bir ivme ile düşmelerinin bir sonucudur.

Galileo'nun tüm düşen nesnelerin bir parabol izlediği şeklindeki gözlemi, tüm bilim dalları içerisindeki en harika keşiflerden biridir. Düşme evrenseldir, aynı şekilde düşen cisimlerin izlediği eğri türü de evrenseldir. Nesnenin neden yapılmış olduğu, nasıl birleştirildiği ya da işlevinin ne olduğu önemli değildir. Nesneyi kaç kere, ne kadar yüksekten bıraktığımız ya da ileriye doğ-



Şekil 1: Parabolün tanımı: bir noktaya ve bir doğruya eşit uzaklıktaki noktalardan oluşan eğri.

ru nasıl bir hızla fırlattığımız da önemli değildir. Deneyi tekrar tekrar yapabiliriz ve her seferinde sonuç bir paraboldür. Parabol betimlemesi en kolay eğrilerden biridir. Bir noktaya ve bir doğruya eşit uzaklıkta bulunan noktalardan oluşan kümeye parabol denir. Yani en evrensel olgulardan biri, aynı zamanda en basit olgulardan biridir.

Parabol, Galileo'dan çok daha önce matematikçiler tarafından bilinen matematiksel bir kavram, matematiksel nesne adını verdiğimiz nesnelere bir örnektir. Galileo'nun cisimlerin paraboller izleyerek düştüğü şeklindeki gözlemi, doğa yasalarına, yani evrenin küçük bir alt sistemindeki davranışlardaki düzene ilişkin elimizdeki ilk örneklerdendir. Bu örnekteki alt sistem, bir gezegenin yüzeyi yakınlarında düşmekte olan bir nesnedir. Söz konusu olay, evrenin başlangıcından bu yana pek çok defa, pek çok yerde gerçekleşmiştir; dolayısıyla yasanın uygulanabileceği birçok örnek bulunur.

İşte biraz daha büyük çocukların sorabileceği bir soru: Düşen nesnelerin böyle basit bir eğri izlemesi, bize doğa hakkında ne anlatır? Salt düşünceye dayalı bir icat olan parabol gibi matematiksel bir nesnenin neden doğa ile bir ilişkisi olsun ki? Ayrıca neden düşme gibi evrensel bir olgunun matematiksel karşılığı, geometrideki en basit ve güzel eğrilerden biri olsun ki?



Galileo'nun yaptığı keşiften bu yana fizikçiler, matematiği fiziksel olguların betimlenmesinde başarıyla kullanmaktadır. Günümüzde, yasaların matematiksel olması gerektiği bize aşikâr gelebilir ama Dünya'daki nesnelerin hareketleri için geçerli, doğru bir matematiksel yasanın oluşturulabilmesi için Öklid'in geometri aksiyomlarını ortaya koymasının üzerinden neredeyse 2 bin yıl kadar bir süre geçmesi gerekecekti. Antik Yunan çağından 17. yüzyıla kadar, eğitimli kişiler parabolün ne olduğunu biliyordu ama içlerinden biri bile düşürdükleri, fırlattıkları ya da ateşledikleri topların, okların ve diğer nesnelerin belirli tipte bir

eğri boyunca düşüp düşmediğini merak etmiş gibi görünmüyordu.[1] İçlerinden herhangi biri, Galileo'nun yaptığı keşfi yapabilirdi; Galileo'nun kullandığı aletler Platon'un Atinası'nda ya da Hypatia'nın İskenderiyesi'nde de mevcuttu. Ama kimse bu keşfi yapmamıştır. Ne değişmişti ki Galileo cisimlerin düşmesi kadar basit bir şeyin betimlenmesinde matematiğin bir rolü olduğunu düşünmeye başlamıştı?

Bu soru, bizi ifade etmesi kolay ama yanıtlaması zor bazı soruların merkezine götürür: Matematik ne hakkındadır? Bilim ile arasında nasıl bir ilişki vardır?

Matematiksel nesneler salt düşünce ürünleridir. Parabolleri, Dünya üzerinde keşfetmeyiz, onları icat ederiz. Paraboller ya da daireler veya doğrular, birer fikirden ibarettir. Formüle edilmeleri ve sonra bir tanımla ifade edilmeleri gerekir. *"Daire, bir noktadan eşit uzaklıktaki noktalar kümesidir... Parabol, bir nokta ile bir doğrudan eşit uzaklıktaki noktalar kümesidir."* Kavramı netleştirdikten sonra bir eğrinin tanımını kullanarak doğrudan akıl yürütme yoluyla onun özelliklerini saptayabiliriz. Lisedeki geometri derslerinde öğrendiğimiz gibi bu akıl yürütme, her önermesi bir önceki önermeyi basit akıl yürütme kuralları uyarınca izleyen bir ispat şeklinde formüle edilebilir. Resmi olarak kabul gören bu akıl yürütme sürecinin hiçbir aşamasında gözlemin ya da ölçümün bir rolü yoktur.[2]

Bir çizim, ispatla ortaya konan özelliklere yaklaşabilir ama her zaman kusurludur. Aynı şey gezegenimizde karşılaştığımız eğriler için de geçerlidir: gerinen bir kedinin sırtının kamburlaşması ya da bir asma köprünün kablolarının kıvrımı gibi. Bunlar, matematiksel bir eğriyi ancak yaklaşık bir şekilde izleyecektir. Bunlara daha yakından bakarsak oluşmalarında daima bir kusur olduğunu görürüz. Matematiğin temel paradoksu işte budur: İncelediği şeyler gerçek değildir, yine de bir şekilde gerçekliğe ışık tutarlar. Ama nasıl? Gerçeklik ile matematik arasındaki ilişki, bu basit örnekte bile hiç de belirgin değildir.

Matematiğin incelenmesiyle kütleçekiminin incelenmesi arasında ne gibi bir ilişki olduğunu merak edebilirsiniz. Ama bu,

açılması gereken bir parantezdir, çünkü zamana dair gizemin merkezinde matematik de en az kütleçekimi kadar yer sahibidir ve matematikle doğa arasındaki ilişkiyi, düşen cisimlerin eğriler çizmesi gibi basit bir örnek temelinde çözmek durumundayız. Aksi halde, şimdiki çağa gelip, "Evren dört boyutlu bir uzay-zaman sistemidir" gibi cümlelerle karşılaştığımızda dümensiz kalırız. Dibini görebildiğimiz kadar sığ sulardan geçmezsek, bize bilim kisvesi altında radikal metafizik fantezileri satmaya çalışan gizemciler için kolay av oluruz.

Doğa, mükemmel daireler ve paraboller içermese de bunlarla doğadaki nesnelerin ortak bir özelliği vardır: ikisini de hayal gücümüzle ve irademizle değiştiremeyiz. Pi sayısı (bir dairenin çevresinin çapına oranı) bir fikirdir. Ama kavram ortaya atıldıktan sonra artık sahip olduğu değer, keşfetmek için biraz daha akıl yürütmemiz gereken nesnel bir özellik halini almıştır. Pi sayısının değerini, yasayla belirleme çabaları olmuştur ve bu çabalar ciddi bir yanlış anlamaya işaret etmektedir. Ne kadar istersek isteyelim, pi sayısının değeri olduğu gibi kalacaktır. Aynı şey eğrilerin ve matematikteki başka nesnelerin diğer tüm özellikleri için de geçerlidir; bu nesneler her ne iseler odurlar, özelliklerini doğru ya da yanlış biliyor olabiliriz ama bu özellikleri değiştiremeyiz.

Çoğumuz uçamamanın getirdiği hayal kırıklığını atlatırız. Eninde sonunda doğanın birçok yönünü herhangi bir şekilde değiştiremeyeceğimizi kabul ederiz. Ama yalnızca zihnimizde var oldukları halde doğadaki cisimler kadar nesnel ve irademizle değiştirilemeyen özelliklere sahip kavramlar bulunması biraz rahatsız edici değil mi? Matematikteki eğrileri ve sayıları biz ortaya atıyoruz ama bir kez ortaya attıktan sonra bunları değiştiremiyoruz.

Ancak eğriler ve sayılar, özelliklerinin kalıcılığı ve irademize olan dirençleri bakımından doğal dünyadaki nesneleri andırsa da doğal nesnelerle aynı değildir. Bunlar, doğadaki her şeyde bulunan temel bir özellikten yoksundur. Gerçek dünyada daima zamanda bir an içerisindeyiz. Dünya'da bildiğimiz her şey zamanın akışında yer alır. Dünya hakkında yaptığımız her gözleme bir tarih atılabilir. Her birimiz ve doğada bildiğimiz her şey

bir zaman aralığı boyunca var olur; bu aralığın öncesinde ve sonrasında ne biz ne de onlar mevcuttur.

Eğriler ve diğer matematiksel nesneler ise zamanda yaşamaz. Pi sayısının değeri belirli bir tarihten önce farklı veya belirsiz değildi, belirli bir tarihten sonra da değişmeyecektir. İki paralel çizginin Öklid'in tanımladığı bir düzlemde asla kesişmediği şu anda doğru ise geçmişte ve gelecekte de daima doğru olacaktır. Eğriler ve sayılar gibi matematiksel nesnelere ilişkin önermeler, zamana ilişkin herhangi bir kısıtlama gerektirmeyecek şekilde doğrudur. Matematiksel nesneler zamanın ötesindedir. Ama zamanın içerisinde bulunmayan bir şey nasıl var olabilir?[3]

İnsanlar bu konuları binlerce yıldır tartışmaktadır ve filozoflar henüz bir uzlaşmaya varamamıştır. Ama bu soruları ilk tartışmaya başladığımız zamandan beri üzerinde durulan bir öneri vardır. Bu öneriye göre eğriler, sayılar ve diğer matematiksel nesneler doğada gördüğümüz şeyler kadar somuttur, ancak bu nesneler bizim dünyamızda değil başka bir âlemde, zamanın olmadığı bir âlemde bulunur. Demek oluyor ki dünyamızda biri zamana bağlı diğeri zaman dışı iki tür nesne *yoktur.* Bunun yerine iki dünya vardır: zamana bağlı bir dünya ve zaman dışı bir dünya.

Matematiksel nesnelerin farklı, zaman dışı bir dünyada var olduğu fikri sık sık Platon'a atfedilir. Platon, matematikte bahsedilen üçgenin dünyadaki herhangi bir üçgen değil, en az o kadar (hatta daha da fazla) gerçek olan ancak zamanın ötesindeki başka bir âlemde bulunan ideal bir üçgen olduğunu öğretirdi. Bir üçgenin açılarının toplamının 180 derece olduğu teoremi fiziksel dünyamızdaki hiçbir üçgen için tam anlamıyla doğru olmamakla birlikte, matematiksel dünyada var olan o ideal matematiksel üçgen için mutlak olarak ve kesinlikle doğrudur. Demek oluyor ki teoremi ispatladığımızda zamanın ötesinde var olan bir şey hakkında bilgi ediniyor ve aynı şekilde şu an, geçmiş ya da gelecekle sınırlı olmayan bir doğruyu ortaya koymuş oluyoruz.

Eğer Platon haklıysa, insanoğlu sırf akıl yürütme yoluyla zamanı aşabilir ve zaman dışı bir varlık âlemine ilişkin zaman dışı doğrular öğrenebilir. Bazı matematikçiler, Platon'un âlemine

ilişkin bazı bilgilere çıkarım yoluyla ulaştıklarını iddia eder. Eğer bu iddia doğruysa söz konusu matematikçiler bir derece kutsallık kazanmaktadır. Bu insanlar nasıl bunu başardıklarını düşünmektedir? İddiaları inandırıcı mı?

Ne zaman bir parça Platonculuk istesem arkadaşım Jim Brown'ı öğle yemeğine davet ederim. İkimiz de güzel bir yemeğin tadını çıkarırken Jim, matematiksel dünyanın zaman dışı gerçekliğine olan inancı destekleyen delilleri sabırla bir daha anlatır. Jim, jilet kadar keskin bir zekâyı neşeli bir karakterle birleştiren ender filozoflardandır. Hayatta mutlu olduğunu hissedebilirsiniz ve onu tanımak sizi de mutlu eder. İyi bir filozoftur; her iki taraftaki tüm savları bilir ve aksini ispatlayamadığı savları tartışmaktan çekinmez. Ama ben, zaman dışı bir matematiksel nesneler âleminin varlığına duyduğu güveni sarsacak bir yol bulamadım. Bazen insanın kavrayışını aşan doğrulara duyduğu inancın, insan olmaktan duyduğu mutluluğa katkısı olup olmadığını merak ederim.

Jim ve diğer Platoncular tarafından yanıtlanmasının zor olduğu kabul edilen sorulardan biri, zamana bağlı olarak yaşayan ve yalnızca benzer biçimde zamana bağlı diğer şeylerle temas kurabilen insanoğlunun, nasıl olup da zaman dışı matematik âlemi hakkında kesin bilgilere ulaşabildiği sorusudur. Matematiksel doğrulara akıl yürütme aracılığıyla ulaşırız ama akıl yürütmemizin doğru olduğundan nasıl emin olacağız? Doğrusu şu ki emin olamayız. Zaman zaman ders kitaplarında yayımlanan ispatlarda bile hatalar bulunmaktadır, yani başka hatalar olması da muhtemeldir. Bu zorluğu aşmak için matematiksel nesnelerin hiçbir yerde, zamanın dışında bile var olmadığını öne sürebilirsiniz. Ama var olmayan nesnelerden oluşan bir alan hakkında güvenilir bilgi sahibi olduğumuzu ileri sürmek de çelişki değil mi?

Kendisiyle Platonculuğu tartıştığım bir başka arkadaşım da İngiliz matematiksel fizikçi Roger Penrose'dur. Penrose, matematiksel dünyadaki doğruların herhangi bir aksiyomlar sistemi tarafından yansıtılmayan bir gerçekliğe sahip olduğunu savunur. Büyük mantıkçı Kurt Gödel'in izinden giderek akıl yürütme yoluyla matematiksel âlem hakkındaki doğrulara (varsayım-

lara dayalı resmi ispatların ötesindeki doğrulara) doğrudan ulaşabileceğimizi öne sürer. Bir seferinde bana şöyle bir şey söylemişti: "Bir artı birin iki ettiğine kesinlikle eminsin. Bu matematiksel dünyaya ilişkin sezgilerinle ulaşabileceğin ve emin olabileceğin bir gerçek. Demek ki bir-artı-bir-eşittir-iki tek başına akıl yürütmenin zamanı aşabileceğini yeterince kanıtlıyor. Ya iki artı iki eşittir dört? Ondan da eminsin! Peki, beş artı beş eşittir on? Bir şüphen yok, değil mi? Yani zaman dışı matematik âlemi hakkında birçok olguyu bildiğinden eminsin." Penrose, zihinlerimizin sürekli değişen deneyim akışını aşıp onun ötesindeki zaman dışı ebedi gerçekliğe ulaşabileceğine inanır.[4]

Düşme deneyimimizin evrensel bir doğa olayı olduğunu kavradığımızda kütleçekimi olgusunu keşfettik. Bu olguyu anlama çabalarımız sırasında şaşırtıcı bir düzenin farkına vardık: Tüm nesneler düşerken eskiler tarafından ortaya atılmış, parabol adı verilen basit eğrileri izler. Bu şekilde, dünyadaki zamana bağlı şeyleri etkileyen evrensel bir olgu ile mükemmelliği sayesinde zamanın ötesinde doğrular (ve varlıklar) bulunduğunu düşündüren icat edilmiş bir kavram arasında bir ilişki kurabiliyoruz. Brown ve Penrose gibi bir Platoncu iseniz, düşen cisimlerin evrensel olarak paraboller çizdiğinin keşfi, aslında zamana bağlı dünyevi âlemimiz ile zaman dışı bir başka ebedi doğruluk ve güzellik âlemi arasında bir ilişki olduğunun algılanmasından başka bir şey değildir. Bu durumda Galileo'nun basit keşfi, metafiziksel veya dinsel bir önem kazanır: dünyayı evrensel olarak etkileyen zaman dışı kutsalın yansımasının keşfidir bu. Bizim kusurlu dünyamızda yer alan bir cismin zaman içerisindeki düşüşü, doğanın merkezindeki mükemmelliğin zaman dışı olan özünü gözler önüne serer.

Bu bilim aracılığıyla zamanın dışına çıkma düşüncesi ben de dâhil çoğu kişiyi bilime çekmiştir. Fakat artık bu görüşün yanlış olduğundan eminim. Zamanı aşma rüyasının temelinde, zamana bağlı olanı zaman dışı olanla açıklama iddiasından kaynaklanan ölümcül bir kusur vardır. Hayali zaman dışı dünyaya fiziksel erişimimiz olmadığından, er ya da geç kendimizi bir şeyler uydururken bulacağız (ilerleyen bölümlerde size bu kusura iliş-

kin örnekler vereceğim). Evrenimizin sonuçta algıladığımız her şeyden ayrı duran, daha mükemmel bir başka dünya ile açıklanabileceğini söyleyen tüm iddiaların merkezinde bir ucuzluk bulunur. Bu iddialara boyun eğersek bilim ile gizemcilik arasındaki sınırı zayıflatmış oluruz.

Doğal sınırların ötesine geçiş isteğimiz, kökünde dinsel bir özlemdir. Ölümden, yaşamın acıları ve kısıtlamalarından kurtulma arzusu dinlerin ve gizemciliğin yakıtıdır. Matematiksel bilginin peşinden gitmek, insanı olağanüstü bir bilgi türüne özel erişim yetkisine sahip bir tür rahip haline mi getirir? Matematiğin aslında dinsel bir etkinlik olduğunu kabul mü etmeliyiz? Yoksa en akılcı düşünürlerimiz olan matematikçiler, yaptıkları işten insan yaşamının sınırlarını aşmanın yoluymuş gibi bahsettiklerinde bundan endişe mi duymalıyız?

Algıladığımız ve deneyimlediğimiz evreni yalnızca kendisi temelinde açıklamak (gerçeği yalnızca gerçekle ve zamana bağlı olanı da yalnızca zamana bağlı olanla açıklamak) gerektiği şeklindeki öğretiyi kabul etmek çok daha zordur. Ama daha zor da olsa bu kısıtlı, daha az romantik yol nihayetinde daha başarılı olacaktır. Bizi bekleyen ödül, sonunda zamanı kendi bağlamı çerçevesinde anlamaktır.

Zamanın Ortadan Kayboluşu

Hareket ile eğriler arasında bir bağlantı kuran ilk kişi, Galileo değildi. O, yalnızca bunu Dünya'nın hareketine uygulayan ilk kişiydi. Cisimlerin parabol çizerek düştüğünün Galileo'dan önce kimsenin aklına gelmemiş olmasının bir nedeni, kimsenin bu parabolleri doğrudan gözlemlememiş olmasıydı. Düşen cisimlerin izlediği yol, söz konusu cisimler tarafından gözle görülemeyecek kadar hızlı bir şekilde kat ediliyordu.[1] Ama Galileo'dan çok önce insanların ellerinde kolaylıkla kaydını tutabilecekleri kadar yavaş hareketlerin örnekleri vardı. Bunlar Güneş'in, Ay'ın ve gökyüzündeki gezegenlerin hareketleriydi. Platon ve öğrencilerinin elinde, bu gökcisimlerinin konumlarına ilişkin Mısırlılar ve Babilliler tarafından binlerce yıldır tutulan kayıtlar mevcuttu.

Bu tür kayıtlar, onları inceleyenleri hayrete düşürüyor ve sevindiriyordu çünkü kayıtlarda, bazıları Güneş'in yıllık hareketi gibi bilinen, diğerleri Güneş tutulması kayıtlarında görülen on sekiz yıl on bir günlük döngü gibi çok da bilinmeyen örüntüler vardı. Eskiler için bu örüntüler içinde yaşadıkları evrenin gerçek yapısına ilişkin ipuçlarıydı. Yüzyıllar boyunca âlimler bu ipuçlarını çözmeye çalıştı ve matematik işte bu çabalar sayesinde ilk defa bilime girdi.

Ancak bu, yanıtın tümü değildir. Galileo, Yunanların o dönem elinde olmayan bir araç kullanmamıştır, yani Dünya üzerindeki hareket konusunda bir ilerleme kaydedilmemesinin kavramsal bir nedeni olmalıdır. Selefleri, Dünya üzerindeki harekete ilişkin Galileo'da bulunmayan bir kör noktaya mı sahiplerdi? Onların inanıp Galileo'nun inanmadığı neydi?

Eski gökbilimciler tarafından bulunan en basit ve en büyük örüntülerden birinin keşfini ele alalım. İngilizcede gezegen anlamına gelen "planet" sözcüğü, Yunanca "gezgin" kelimesinden gelir, ancak gezegenler gökyüzünün her tarafında dolaşmaz. Hepsi tutulum çemberi adı verilen, yıldızlara göre sabit büyük bir daire boyunca hareket eder. Tutulum çemberinin keşfi, gezegenlerin konumlarına ilişkin kayıtlardaki şifrenin çözülmesinde atılmış ilk adım olmalıdır.

Daire, basit bir kuralla tanımlanan matematiksel bir nesnedir. Gökyüzündeki hareketlerde bir daire görülmesi ne anlama gelir? Bu, zaman dışı bir olgunun fâni, zamana bağlı dünyaya yaptığı bir ziyaret midir? Biz olsak böyle düşünebilirdik ama eskiler farklı bir yorum yapmıştır. Eskilere göre evren, iki âleme ayrılmıştı: doğum ve ölümün, değişim ve bozulmanın sahnesi olan dünyevi âlem ve zaman dışı mükemmelliğin yeri olan yukarıdaki semavi âlem. Onlar için gökyüzü zaten doğal sınırların ötesinde olan bir âlemdi; büyümeyen ve bozulmayan kutsal nesnelerle doluydu. Ne de olsa yaptıkları gözlemler bunu gösteriyordu. Aristoteles şöyle demişti: "Bütün geçmişimizden bize miras kalan kayıtlara göre, ne uzak gökyüzünün ne de onun asıl parçalarından herhangi birinin düzeninde herhangi bir değişiklik görülmemektedir."[2]

Bu kutsal âlemdeki nesneler hareket edecekse bu hareketler ancak mükemmel ve dolayısıyla ebedi olabilirdi. Eskilere göre gezegenlerin bir daire boyunca hareket ettikleri açıktı çünkü kutsal ve mükemmel olduklarına göre yalnızca en mükemmel eğri boyunca hareket edebilirlerdi. Ama dünyevi âlem mükemmel değildir, bu yüzden onlara Dünya üzerindeki hareketi mükemmel matematiksel eğriler aracılığıyla betimlemek tuhaf gelmiş olabilir.

Evrenin dünyevi bir âlem ile semavi kürelerden oluştuğu fikri, Aristocu fizikte bir sisteme oturtulmuştur. Dünyevi âlemdeki her şey dört elementin karışımlarından oluşuyordu: toprak, hava, ateş ve su. Hepsinin doğal bir hareketi vardı. Örneğin, toprağın doğal hareketi evrenin merkezine doğruydu. Değişim, bu dört özün karışmasıyla meydana geliyordu. Esir ise semavi âlemi ve bu âlemde hareket eden nesneleri oluşturan beşinci elementti.

Yükselme ile doğal sınırları aşma arasındaki bağlantının kökeni evrenin iki âleme ayrılmasında yatmaktadır. Tanrı, cennet, mükemmellik, bunların hepsi üzerimizdedir, biz ise aşağıda hapsolmuş durumdayız. Bu açıdan bakıldığında gökyüzündeki hareketlerin matematiksel şekiller izlediği keşfi akla uygun gelmektedir çünkü hem matematik hem de gökyüzü zamanın ve değişimin ötesindeki âlemlerdir. İkisi konusunda da bilgi sahibi olmak dünyevi âlemi aşmak demektir.

Bu durumda matematik, gökyüzünün zaman dışı mükemmelliğine duyulan inancın bir ifadesi olarak bilime girmiştir. Matematik her ne kadar faydasını kanıtlamış olsa da zaman dışı matematik yasalar ön kabulü asla tamamen masum da olamaz, çünkü daima maddi dünyamızı aşıp mükemmel biçimlerin dünyasına ulaşmaya ilişkin metafizik fantezilerin izlerini taşır.

Eskilerin evrenini geride bıraktıktan çok sonra bile bu ön kabulün temel şekli günlük konuşma dilini ve benzetmeleri etkilemektedir. Göklere çıkmaktan bahsederiz. İlham için yukarı bakarız. Öte yandan düşmek kontrolü kaybettiğini kabullenmek anlamına gelir. Daha da ötesi, "yükselmek" ile "düşmek" arasındaki karşıtlık, tensel ile tinsel arasındaki çatışmayı sembolize eder. Cennet yukarıdadır, cehennem ise aşağıda. Kendimizi küçük düşürdüğümüzde yerin dibine geçeriz. Tanrı ve son kertede ulaşmayı istediğimiz her şey üstümüzdedir.

Müzik, eskiler için doğal sınırların ötesine geçmeyi deneyimlemenin başka bir yoluydu. Müzik dinlerken sık sık "bizi içinde bulunduğumuz anın dışına götüren" derin bir güzellik duyumlarız. Eskilerin, müziğin güzelliğinin ardında çözülmeyi bekleyen matematiksel gizemlerin bulunduğunu hissetmiş olması şaşırtı-

cı değildir. Pisagor okulunun büyük keşiflerinden biri, müzikal armoniler ile basit sayı oranları arasında bir bağlantı olduğunun ortaya çıkarılmasıydı. Eskiler için bu, matematiğin kutsal örüntüleri yansıttığına işaret eden ikinci ipucuydu. Pisagor ve takipçileri hakkında çok az kişisel ayrıntı biliyoruz ama matematiğe yatkınlıkla müzik yeteneğinin genellikle birlikte görüldüğünü fark etmiş olduklarını düşünebiliriz. Biz, matematikçiler ile müzisyenlerin soyut örüntüler görme, yaratma ve manipüle etme yeteneğine sahip olduklarını söylüyoruz. Eskiler ise muhtemelen kutsalı algılama konusunda ortak bir yeteneğine sahip olduklarını söylüyorlardı.

Galileo, bir bilim insanı olmadan önce, daha bir çocukken müzikle tanışmıştı.[3] Babası Vincenzo Galilei, bir besteci ve nüfuz sahibi bir müzik kuramcısıydı; küçük oğlunun armoni ile oran arasındaki ilişkiyi görebilmesi için Piza'daki evlerinin tavan arasındaki oda boyunca keman yayları gerdiği söylenir. Piza katedralindeki bir ayin sırasında canı sıkılan Galileo, tavandan asılan bir lambanın bir yandan öbür yana sallanması sırasında geçen zamanın, gidip geldiği mesafeye bağlı olmadığını fark etmişti. Periyodun (bir sallanma veya yörüngenin tamamlanması için geçen zaman) sarkacın genliğinden böyle bağımsız olması, Galileo'nun yaptığı ilk keşiflerdendir. Peki, bu keşfi nasıl yapmıştı? Biz olsak bir kronometre veya saat kullanırdık ama Galileo'nun elinde bunlar yoktu. Daha sonra zamanı bir nabız atışının onda birine kadar ölçebildiğini iddia ettiğine göre, başının üzerinde sallanan lambaları seyrederken kendi kendisine bir şarkı mırıldandığını kabul edebiliriz.

Galileo halka, Kopernikçiliği tanıtmaya karar verdiğinde bir müzisyenin şovmenliğine sahip olduğunu da göstermiştir. Fikirlerini âlimlerin dili Latince değil İtalyanca olarak yazmış, yemek yer ya da yürüyüş yaparken bilim hakkında sohbet eden hayali karakterlerin diyaloglarını kullanarak bu fikirleri canlı bir biçimde aktarmıştır. Bu nedenle kilisenin ve üniversitenin hiyerarşisini reddedip doğrudan sokaktaki insanın zekâsına seslenen bir demokrat olarak övülür.

Ancak her ne kadar parlak bir polemikçi ve deney adamı olsa da Galileo'nun çalışmalarının asıl şaşırtıcı yanı, kısmen İtalyan Rönesansı sonucunda eski dogmalardan kurtulması sayesinde, sorduğu yeni sorularda yatmaktadır. Uzun süre insanları düşünmekten alıkoyan dünyevi ve kutsal âlemler arasındaki eski ayrımın Galileo'yu etkilemediği anlaşılmaktadır. Leonardo durağan nesnelerdeki oranı ve uyumu keşfetmişti. Galileo ise sarkaçlar ve eğik düzlemlerde yuvarlanan toplar gibi hareketli nesneleri kullanarak günlük hareketlerdeki matematiksel uyumu aramıştır. Demokratlığını, benimsediği iletişim stratejisinde göstermesinden önce evrene karşı göstermiştir.

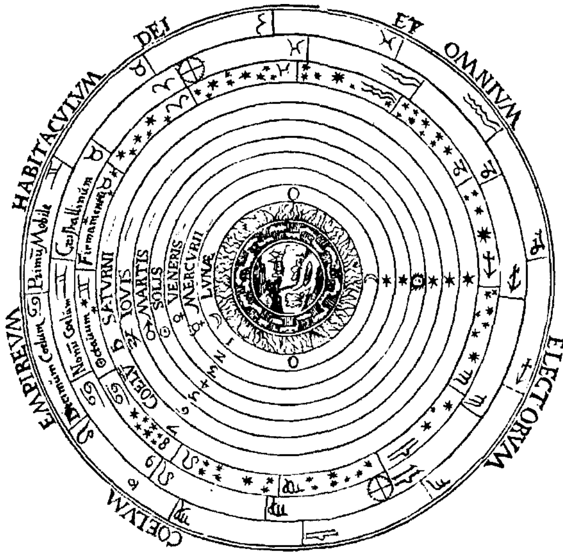
Galileo, semavi mükemmelliğin bir yalan olduğunu keşfederek gökyüzünün kutsallığını ortadan kaldırmıştır. Teleskobu o bulmamıştır ve bu yeni buluşu gökyüzüne bakmak için kullanan tek kişi de o olmayabilir. Ama eşsiz bakış açısı ve yetenekleri, onu gökyüzünde gördüğü kusurları dile getirmeye itmiştir. Güneş'te lekeler vardır. Ay, beşinci elementten oluşan mükemmel bir küre değildir; tıpkı Dünya gibi dağlara sahiptir. Satürn'ün tuhaf, üçlü bir şekli vardır. Jüpiter'in ayları vardır ve yıldızların sayısı da çıplak gözle görülenden çok daha fazladır.

Kutsallığın bu şekilde gözden düşmesi birkaç yıl önce, Danimarkalı gökbilimci Tycho Brahe'nin 1577 yılında bir kuyrukluyıldızın gökyüzünün mükemmel kürelerini delip geçişini seyretmesi ile başlamıştı. Tycho, çıplak gözle gözlem yapan gökbilimcilerin sonuncusu ve en büyükleriydi ve asistanlarıyla birlikte hayatı boyunca gezegenlerin hareketlerine ilişkin o zamana kadar yapılan en iyi ölçümleri toplamıştı. Bu ölçümler, Johannes Kepler adında huysuz, genç bir asistanı işe aldığı 1600 yılına kadar kayıt defterlerinde incelenmeden kaldı.

Gezegenler tutulum çemberi boyunca hareket ederler ama görünürdeki hareketleri tutarlı değildir. Hepsi aynı yönde ilerler, ancak arada bir durup geri döner, bir süre ters yönde seyrederler. Bu geri hareket eskilerin anlam veremediği büyük bir gizemdi. Bunun asıl anlamı şudur: Dünya da diğer gezegenler gibi Güneş etrafında dönen bir gezegendir. Gezegenler yalnız-

ca Dünya'nın bakış açısından durup ilerliyormuş gibi görünür. Mars, bizim önümüzdeyken gökyüzünde doğuya doğru hareket eder, Dünya onu yakaladığında ise hareket yönünü değiştirir. Gezegenlerin geriye doğru olan hareketi yalnızca Dünya'nın hareketinin bir sonucudur ama eskiler durumu bu şekilde göremiyordu, çünkü Dünya'nın evrenin merkezinde hareketsiz durduğu şeklinde hatalı bir fikre saplanıp kalmışlardı. Dünya sabit olduğuna göre, gezegenlerin görünürdeki hareketleri gerçek hareketleri olmalıydı; dolayısıyla eski gökbilimciler geri hareketleri, bunlar gezegenlerin kendi gerçek hareketlerinden kaynaklanıyormuş gibi açıklamak zorundaydı. Bunu yapabilmek için iki tür daire içeren hantal bir düzen düşündüler; her gezegen bir nokta etrafında dönen küçük bir daireye bağlıydı ve bu nokta da Dünya'nın çevresindeki büyük bir daire üzerinde ilerliyordu.

İlmek adı verilen bu mini dairelerin dönme süresi bir Dünya yılıydı, çünkü bunlar aslında Dünya'nın hareketinin yansımasından başka bir şey değillerdi. (Daha doğru bir ifadeyle ilmeğin



Şekil 2: Batlamyus'un evren modeline ait bir çizim.[4]

dönme süresi, dış gezegenler –Mars, Jüpiter ve Satürn– için bir Dünya yılıdır. Merkür ile Venüs için farklı bir düzenleme gerekir.) Diğer küçük ayarlamalar daha da fazla daire gerektiriyordu; tüm sistemin işlemesi için elli beş daire gerekliydi. İskenderiyeli gökbilimci Batlamyus, büyük dairelerin hepsi için doğru dönüş süreleri saptayarak modeli dikkate değer bir hassasiyetle işleyecek şekilde düzenledi. Birkaç yüz yıl sonra İslam dünyasından gökbilimciler Batlamyus modelini daha da ince bir şekilde ayarladı; Tycho'nun zamanında model, gezegenlerin, Güneş'in ve Ay'ın konumlarını 1000'de 1'lik bir hassasiyetle tahmin edebiliyordu ve bu, Tycho'nun çoğu gözlemini doğrulamak için yeterli bir hassasiyetti. Batlamyus'un modeli matematiksel olarak güzeldi ve kazandığı başarı gökbilimciler ile din bilimcileri bin yıldan uzun bir süre boyunca söz konusu modelin temel dayanaklarının doğru olduğuna ikna etmişti. Bu dayanaklar nasıl yanlış olabilirdi ki? Ne de olsa gözlemler modeli doğruluyordu.

Buradan çıkarılacak ders şudur: ne matematiksel güzellik ne de deneylere uyum bir kuramın temelindeki fikirlerin gerçeği yansıttığının bir garantisi olabilir. Bazen doğadaki örüntülere ilişkin bir çözümleme bizi yanlış yöne sürükleyebilir. Bazen kendimizi hem bireyler hem de toplum olarak ciddi biçimde kandırırız. Batlamyus ve Aristoteles günümüzün bilim insanlarına göre daha az bilimsel bir yaklaşım izlemiyorlardı. Yalnızca birbiriyle gayet uyumlu birkaç yanlış hipotezle karşılaştıkları için şanssızdılar. Kendimizi kandırma yeteneğimize karşı elimizdeki tek panzehir, yanlışlıkların eninde sonunda gün ışığına çıkabilmesi için bilim sürecini işletmeyi sürdürmektir.

Tüm ilmeklerin aynı dönüş süresine sahip olmasının ve Güneş'in yörüngesi ile uyum içerisinde hareket etmesinin arkasında yatan anlamı çözmek, Kopernik'e düşmüştür. Kopernik, Dünya'yı bir gezegen olarak gerçek yerine, Güneş'i de evrenin merkezinin yakınına koydu. Bu değişiklik, modeli basitleştirdi ama eski kozmolojinin atlatamayacağı bir gerilim yarattı. Eğer Dünya, gökyüzünde hareket eden başka bir gezegenden ibaretse, Dünya'nın küresi neden diğer semavi kürelerden farklı olsun?

Ne var ki Kopernik diğer ipuçlarını gözden kaçıran gönülsüz bir devrimciydi. Gözden kaçan en büyük ipuçlarından biri, Dünya'nın hareketi hesaba katılmakla birlikte, gezegen yörüngelerinin tam olarak daire şeklinde olmamasıydı. Gökyüzündeki hareketlerin dairelerin birleşmesiyle oluştuğu fikrinden kendini kurtaramayan Kopernik, bu sorunu aynı bin dört yüz yıl önce Batlamyus'un yaptığı gibi çözdü. Kuramı verilere uydurmak için gereken yerlerde ilmeklerden yararlandı.

Daireye en az benzeyen yörünge Mars'ın yörüngesidir. Kepler'in (ve bilimin) şansına Tycho, Mars'ın yörüngesini çözme görevini Kepler'e verdi. Kepler, Tycho'nun hizmetinden çıktıktan sonra da yıllarca sürdürdüğü çalışmalarının ardından, Mars'ın uzayda dairesel değil, elips şeklinde bir yörüngeye sahip olduğunu buldu. (Elbette bu özet, akıl hocası ile asistanı arasındaki çalkantılı ilişkinin karmaşık hikâyesini büyük oranda basitleştirmektedir.)

Bu, modern okurun kolaylıkla takdir edemeyeceği kadar devrimsel bir buluştu. Dünya merkezli bir kozmolojide gezegenler herhangi bir kapalı yol izlemez, çünkü Dünya'ya göre hepsinin yolu, farklı dönüş sürelerine sahip iki dairesel hareketin birleşiminden oluşur. Yörüngeler yalnızca Güneş'e göre hesaplandıklarında kapalı yollar oluşturur. Yalnızca bu durumda bir yörüngenin şeklinin ne olduğu sorulabilir. Yani Güneş'i merkeze koymak Dünya'nın ahengini artırmaktadır.

Gezegen yörüngelerinin elips şeklinde olduğu anlaşılınca Batlamyus'un kuramının açıklayıcı gücü ortadan kalkmıştı. Bir sürü yeni soru ortaya atıldı: *Neden* tüm gezegenler eliptik yörüngelerde hareket eder? Onları başlarını alıp gitmekten alıkoyan nedir? Uzayda oldukları yerde durmak yerine hareket etmeye zorlayan şey nedir? Kepler'in bu sorulara yanıtı, yarı yarıya doğru olduğu anlaşılan, kaba bir tahminden ibaretti: *Gezegenlerin yörüngelerinde hareket etmesini sağlayan, Güneş'ten kaynaklanan bir kuvvettir.* Güneş'in dönen bir ahtapot olduğunu, o döndükçe kollarının gezegenleri çevresinde dolaştırdığını hayal edin. İlk defa biri Güneş'in gezegenleri etkileyen bir kuvve-

tin kaynağı olduğunu öne sürüyordu. Kepler, yalnızca kuvvetin yönü konusunda yanılmıştı.

Tycho ve Kepler semavi küreleri parçaladı ve böylece evreni birleştirdiler. Bu birleşmenin zamanın anlaşılması konusunda ciddi sonuçları olmuştur. Aristoteles ve Batlamyus'un kozmolojisinde, dünyevi âlemin etrafında zaman dışı, ebedi bir mükemmellik âlemi vardır. Büyüme, çürüme, değişim, zamana bağlı bir dünyanın tüm kanıtları Ay'ın küresinin altındaki ufak alan ile sınırlıdır. Bunun üstünde değişmez ve ebedi, mükemmel dairesel hareket vardır. Zamana bağlı olanı zaman dışı olandan ayıran küre artık parçalandığına göre, sadece tek bir zaman kavramı olabilirdi. Bu yeni dünya bütünüyle zamana mı bağlı olacak, tüm evrenin büyüme ve bozulmaya tabi olduğu mu kabul edilecekti? Yoksa zaman dışı mükemmellik tüm yaratılışı kapsayacak şekilde genişletilecek, değişim, doğum ve ölüm yalnızca birer yanılsama olarak mı görülecekti? Bu soruyla hâlâ boğuşuyoruz.

Kepler ve Galileo kutsal, zaman dışı matematik âlemi ile içinde yaşadığımız gerçek dünya arasındaki ilişkinin gizemini çözemedi. Aksine, daha da derinleştirdiler. Gökyüzü ile Dünya arasındaki sınırı yıkıp Dünya'yı kutsal gezegenlerden biri olarak gökyüzüne yerleştirdiler. Dünya'daki cisimlerin ve Güneş'in çevresindeki gezegenlerin hareketlerinde matematiksel eğriler buldular. Ama zamana bağlı gerçeklikle zaman dışı matematik arasındaki temel sürtüşmeyi gideremediler.

17. yüzyılın ortası itibarıyla bilim insanları ve filozofların önünde zor bir seçim vardı. Ya Dünya özünde matematikseldi ya da zamanın içinde yer alıyordu. Gerçekliğin doğasına ilişkin havada asılı kalan, beklentiyle dolu ve çözülmemiş iki ipucu vardı. Kepler gezegenlerin elipsler boyunca hareket ettiğini keşfetmişti. Galileo da düşen cisimlerin paraboller izlediğini bulmuştu. Her ikisi de basit birer matematiksel eğriyle ifade ediliyordu ve her ikisi de hareketin gizemini kısmen deşifre ediyordu. Ayrı ayrı muazzam birer keşiftiler; birlikte ise yeşermeye başlayan Bilim Devrimi'nin tohumlarını oluşturuyorlardı.

Bu, bugün kuramsal fizikte karşı karşıya olduğumuz durumdan çok da farklı değildir. Kuantum kuramı ve genel görelilik kuramı adında iki büyük keşif yaptık ve bunları birleştirmeye çalışıyoruz. Hayatımın büyük kısmında bu sorun üzerinde çalışmış biri olarak, gösterdiğimiz ilerlemeden etkilendiğimi söyleyebilirim. Aynı zamanda, sorunun çözümünde kilit rol oynayacak basit bir fikri gözlerimizin önünde olmasına rağmen göremediğimizden de eminim. Bir fikir gibi soyut bir şeyin ortaya atılmasını beklerken ilerlemenin geciktirilebileceğini kabul etmek biraz gurur kırıcı olsa da böyle bir şey daha önce de yaşanmıştır. Evrenin dünyevi ve semavi âlemler şeklinde ikiye bölünmüş olduğu fikri, Galileo ve Kepler'in basit keşifleri ile başlayan Bilim Devrimi'ni uzun süre geciktirmiştir. Bu fikir, matematiğin aşağıdaki âleme tam anlamıyla uygulanmasını engellemiş, mükemmel semavi hareketin nedenlerini araştırmanın gereksiz olduğu inancı ise yukarıdaki âlemi anlamamızı önlemiştir.

Bu basit kavramsal hata bin yıldan uzun süre boyunca Galileo'nun attığı adımları atmak için gereken verilere ve matematik bilgisine sahip zeki insanların düşüncelerini köreltmemiş olsa neler olabileceğini hayal etmek heyecan vericidir. Eski Yunan veya İslâm uygarlığından bir gökbilimci, Tycho'dan bin yıl önce elimizde olan verileri kullanarak Kepler'in keşiflerinden bazılarını ya da hepsini pekâlâ yapabilirdi. Dünya'nın, Güneş'in etrafında döndüğü fikri Kopernik'i beklemek zorunda değildi; M.Ö. 3. yüzyılda Aristarkus tarafından önerilmesinden beri bu fikir zaten biliniyordu. Aristarkus'un Güneş merkezli kozmolojisi, Batlamyus ve diğerleri tarafından tartışılmıştı; M.S. 360 ile 415 yılları arasında İskenderiye'de yaşamış bir matematik dehası ve filozof olan Hypatia gibi büyük âlimler tarafından biliniyor olmalıydı. Ya Hypatia veya parlak öğrencilerinden biri Galileo'nun düşen cisimler yasasını ya da Kepler'in eliptik yörüngelerini keşfetmiş olsaydı?[5] Daha 6. yüzyılda bir Newton doğabilir, Bilim Devrimi tam bin yıl önceden başlamış olabilirdi.

Tarihçiler Rönesans'ın etkisiyle, Karanlık Çağların dogmacılığından düşünürleri kurtarması ile yolları açılmamış olsa Ko-

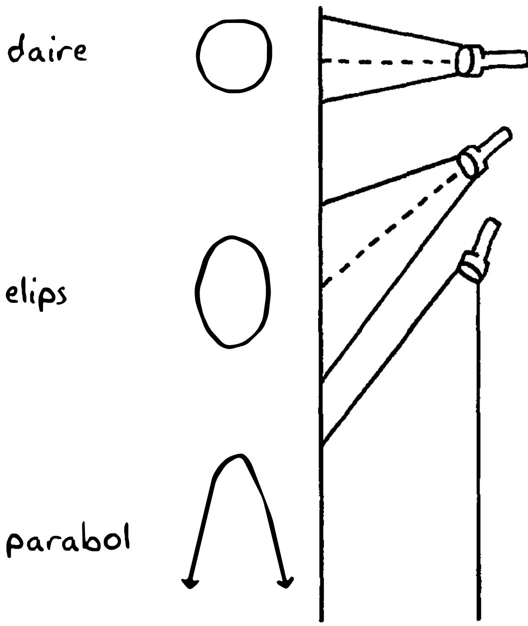
pernik, Galileo ve Kepler'in keşiflerini yapamayacaklarını iddia edebilirler. Diğer yandan Hypatia'nın yaşadığı dönemde henüz Karanlık Çağlar başlamamış ve Yunan öğretisi savunucuları ile köktendincilik taraftarları arasındaki çatışma akılcı araştırma ruhunu henüz öldürmemişti. Roma İmparatorluğu İskenderiyesi'nde, hatta birkaç yüz yıl sonra İslâm dünyasında da ortaya çıkan büyük öğretim merkezlerinde birileri, Dünya merkezli evren fikrini ortadan kaldırmış olsaydı, tarih çok daha farklı olabilirdi. Ne var ki en iyi koşullara sahip en zeki bilim insanları, matematik yasalarının Dünya küresindeki hareketleri yönettiğini ya da dinamik kuvvetlerin gökyüzünde bir rol oynadığını hayal etmek için gerekli kavramsal sıçramayı yapamamıştır. Galileo ve Kepler'in keşiflerini yapabilmeleri için iki âlemi ayıran kürelerin parçalanması gerekmiştir.

Ama onlar bile bir sonraki adımı atıp dünyadaki parabollerde ve gezegenlerin çizdiği elipslerde gizli bütünlüğü fark edememiştir. Bunun için Isaac Newton'u beklemek gerekecekti.

Kürelerin parçalanmasından sonraki çağlarda yaşamış olmaları nedeniyle Galileo ile Kepler bir şeyi yeterince hızlı fırlatmanın o şeyi yörüngeye oturtmaya, yörüngedeki bir şeyi yavaşlatmanın da o şeyin düşmesine neden olup olmayacağı sorusunu sorabilirlerdi. Bizim için bu iki olgunun aynı şey olduğu açıktır. Onlar içinse bu durum hiç de açık değildi. Bazen yeni keşiflerin getirdiği en basit sonuçların bile net olarak anlaşılması bir-iki nesil sürebilir. Yarım yüzyıl sonra Newton yörüngede dönmenin, *düşmenin bir türü* olduğunu kavrayarak gökyüzü ile Dünya'nın birleştirilmesi işini tamamladı.

İpuçlarından biri, hareketi belirleyen iki eğrinin paylaştığı matematiksel birlikti. Gezegenlerin yörüngeleri elips, Dünya üzerinde düşen cisimlerin izlediği yollar parabol şeklindedir. Bu iki eğri birbiriyle yakından ilişkilidir: Her ikisi de bir koni ile bir düzlemin kesişiminden oluşur. Bu şekilde üretilebilen eğrilere konik kesitler denir; konik kesitlerin diğer örnekleri daireler ve hiperbollerdir.

17. yüzyılın ikinci yarısındaki sorun, bu matematiksel birliği açıklayan fiziksel birliğin keşfedilmesiydi. Newton'un Bilim



Şekil 3: El fenerinin duvara vuran ışığı ile örneklenen bazı konik kesitler.

Devrimi'ni başlatmasını sağlayan kavrayış, matematik değil doğa hakkındaydı ve yalnızca Newton'a ait değildi. Birkaç çağdaşı da bu büyük sırrın farkına varmıştı: *Dünya üzerindeki her şeyi Dünya'ya düşmeye zorlayan kuvvet evrenseldir ve aynı zamanda gezegenleri Güneş'e, Ay'ı da Dünya'ya doğru çeker.* Buna kütleçekimi denir.

Hikâyeye göre, Newton bahçesinde oturmuş Ay'ın hareketi hakkında düşünürken ağaçtan düşen elmaları fark etti ve aklında bir şimşek çaktı. İzlediği düşünceyi tamamlamak için can alıcı başka bir soru daha sordu: Bu kuvvet, nesneler arasındaki mesafeye bağlı olarak nasıl azalıyordu? Çünkü azalması şarttır, aksi halde aşağıdaki Dünya'ya doğru değil yukarıdaki Güneş'e doğru çekilirdik. Ayrıca bir kuvvet nasıl hareket üretiyordu?

Newton'un çağdaşı Robert Hooke gibi diğer bilim insanları da bu soruları sormuştu ama Newton'un asıl başarısı sorulara verdiği yanıtlardadır. Bu uğraş yirmi senesini aldı ve Newton fiziği dediğimiz hareket ve kuvvet kuramıyla son buldu.

Bizim konumuz bakımından bu soruların en önemli yönü, matematiksel sorular olmalarıdır. Bir kuvvetin uzaklığa bağlı olarak nasıl azaldığı, basit bir denklem ile gösterilebilir. Birinci sınıftaki her fizik öğrencisinin bildiği gibi doğru yanıt, kuvvetin, uzaklığın karesiyle doğru orantılı olarak azaldığıdır. Bizim doğa algımız bakımından hayret verici olan sonuç, böyle basit bir matematiksel ilişkinin doğadaki evrensel bir olguyu yansıtmasıdır. Doğanın böyle şaşırtıcı biçimde basit olması şart değildi ve gerçekten de eskiler matematiğin, hareketin nedenlerine böylesine basit ve evrensel biçimde uygulanabileceğini akıllarına dahi getirmemişti.

Bir kuvvetin harekete nasıl yol açtığını sormak için hareket halinde bir nesnenin uzayda bir eğri çizdiğini düşünmeniz gerekir. Bu durumda sorulması gereken soru, üzerine etki eden bir kuvvet olduğu ve olmadığı durumlarda eğride nasıl bir fark görüldüğüdür. Yanıtı, Newton'un ilk iki yasası verir. Eğer bir kuvvet yoksa cismin izlediği yol bir doğru olacaktır. Eğer bir kuvvet varsa, kuvvet cismin ivmelenmesine neden olur.

Bu yasaları, matematik olmadan ifade etmek mümkün değildir. Bir doğru, ideal bir matematiksel kavramdır; bizim dünyamızda değil, Platon'un ideal eğrilerden oluşan dünyasında bulunur. Peki, ivme nedir? İvme, hızdaki değişim oranı, hız ise konumdaki değişim oranıdır. Bunu gerektiği gibi betimleyebilmek için Newton'un tamamen yeni bir matematik dalı ortaya koyması gerekmişti: diferansiyel ve integral hesabı.

Gerekli matematiği oluşturduktan sonra sonuçları hesaplamak kolaydır. Elindeki yeni araçlar sayesinde Newton'un yanıtlaması gereken ilk sorulardan biri,[6] Güneş'ten kaynaklanan ve uzaklığın karesiyle orantılı olarak azalan bir kuvvetin etkisi altındaki bir gezegenin nasıl bir yol izleyeceğiydi. Yanıt, bu yolun, gezegenlerin kapalı bir yörünge mi izlediğine yoksa Güneş'in yanından bir seferliğine mi geçtiğine bağlı olarak bir elips, bir parabol ya da bir hiperbol şeklinde olabileceğiydi. Newton, Galileo'nun düşme yasalarını da kendi kütleçekimi yasasına dâhil etmeyi başarmıştı.[7] Demek oluyor ki Galileo ile Kepler aynı olgunun (kütleçekiminin) farklı yönlerini görmüşlerdi.

Düşünce tarihinde düşme ile yörüngede olma arasındaki bu gizli benzerliğin keşfinden daha önemli çok az şey vardır. Ama Newton'un büyük başarısının altından beklenmedik bir sonuç daha çıkmıştır: Newton'un çalışmaları, doğayı eskisinden çok daha matematiksel bir gözle algılamamıza yol açmıştır. Aristoteles ve çağdaşları hareketi, eğilimler temelinde betimlemişti: Topraktan oluşan nesneler, Dünya'nın merkezine gitme eğilimdedir, hava ise Dünya'nın merkezinden kaçma eğilimindedir vb. Özünde, onların yaptığı bilim betimleyiciydi. Nesnelerin izledikleri yolların özel bir niteliğe sahip olduğunu gösteren bir işaret yoktu, dolayısıyla matematiği Dünya'daki hareketin betimlenmesinde kullanmak ilgilerini çekmiyordu. Zaman dışı olan matematik kutsaldı ve yalnızca görebildiğimiz kutsal ve zaman dışı olgular için geçerliydi; bu olgular da sadece gökyüzündeydi.

Galileo, düşen cisimlerin basit bir matematiksel eğriyle betimlendiğini keşfettiğinde bir parça kutsallık yakalamış, onu gökyüzünden Dünya'ya indirmiş ve Dünya'daki günlük nesnelerin hareketlerinde de aynı 'kutsallığın' bulunabileceğini göstermiş oldu. Newton ise Dünya üzerinde ve gökyüzünde görülen inanılmaz çeşitlilikteki hareketlerin, ister kütleçekimine ister diğer kuvvetlere bağlı olsun, gizli bir birliğin dışavurumu olduğunu kanıtlamıştır. Bütün bu farklı hareketler tek bir *hareket yasasının* sonuçlarıdır.

Newton, gökteki hareket ile Dünya'daki hareketi birleştirmeyi tamamladığında artık tek ve birleşik bir evrende yaşıyorduk. Bu kutsallıkla donatılmış bir evrendi çünkü zaman dışı matematik, Dünya'da ve gökyüzünde hareket eden her şeyin temelinde yer alıyordu. Eğer zaman dışılık ve ebedi olma kutsal özellikler ise o zaman evrenimiz, yani evrenimizin tüm tarihi, matematiksel bir eğri kadar ebedi ve kutsal olabilir.

Top Yakalama Oyunu

İLK İKİ BÖLÜMDE ORTAYA ATILAN konuları ele alabilmek için hareketi nasıl tanımladığımız hakkında daha fazla bilgi sahibi olmamız gerekir. Tanım, görünüşte çok basittir: Hareket, zaman içerisinde konumda meydana gelen değişimdir. Peki ama konum nedir ve zaman nedir?

İlk bakışta basit görünen konumun tanımı sorusuna fizikçilerin verdiği iki yanıt vardır. İlki, bir nesnenin konumunun bir tür referans noktasına göre tanımlandığını söyleyen sağduyuya dayalı fikirdir; ikincisi ise uzaydaki konumun başka bir şeyle arasındaki ilişkinin ötesinde mutlak bir yanı olduğunu söyler. Bunlara ilişkisel uzay ve mutlak uzay kavramları adı verilir.

İlişkisel konum kavramı herkes tarafından bilinir. Şu anda koltuğumdan bir metre uzaktayım. Uçak havaalanına batıdan yaklaşıyor ve şimdi bir numaralı pistin sonundan iki kilometre uzaklıkta, 300 metre irtifada seyrediyor. Bütün bunlar göreli konum betimlemeleridir.

Ancak ilişkisel konum bir hususu ihmal ediyormuş gibi görünmektedir. Nihai referansımız nerede? Dünya üzerindeki koordinatlarınızı verdiniz ama Dünya nerede? Kova takımyıldızı yönünde, Güneş'ten şu kadar kilometre uzaklıkta diyelim. Peki, Güneş nerede? Samanyolu Gökadası'nın merkezinden şu kadar bin ışık yılı uzakta. Vesaire.

Bu şekilde devam ederseniz evrendeki her şeyin diğer her şeye göre konumunu verebilirsiniz. Bu çok fazla bilgi demektir ama acaba yeterli mi? Tüm bu göreli konumların arkasında yatan mutlak bir konum, bir şeyin *gerçekten* nerede bulunduğu kavramı yok mu?

İlişkisel ve mutlak uzay kavramları arasındaki bu tartışma tüm fizik tarihi boyunca süregelmiştir. Kabaca konuşmak gerekirse ilişkisel görüşü kabul eden Einstein'ın görelilik kuramı mutlak görüşü yansıtan Newton fiziğini tahtından indirmiştir. Ben, ilişkisel görüşün doğru olduğuna inanıyor ve okuru da ikna etmeyi umuyorum. Ama okurun, Newton gibi dâhilerin neden mutlak görüşü benimsediğini ve bu mutlak görüşü reddedip ilişkisel görüşü benimsemekle nelerden vazgeçtiğimizi de iyice anlamasını istiyorum.

Newton'un bu sorun hakkında nasıl düşündüğünü anlayabilmek için yalnız konum hakkında değil, hareket hakkında da sorular sormalıyız. Şimdilik zamanı bir kenara bırakıp az önce tartıştıklarımızı uygulamaya koyalım. Eğer konum göreli ise hareket göreli konumdaki değişim, yani bir referans cismine göre konumda görülen değişimdir.

Günlük hayatımızda, hareketten bahsettiğimizde kastettiğimiz göreli harekettir. Galileo, Dünya'nın yüzeyine *göre* düşen cisimleri incelemiştir. Topu attığımda onun, benden uzaklaştığını görürüm. Dünya, Güneş'in etrafında döner. Hepsi göreli hareket örnekleridir.

Göreli hareketin sonuçlarından biri şudur: kimin ya da neyin hareket ettiği daima bakış açısına bağlıdır. Dünya ve Güneş birbirleri etrafında döner ama aslında hareket eden hangisidir? Acaba aslında Güneş, evrenin merkezinde sabit duran Dünya'nın etrafında dönüyor olabilir mi? Yoksa sabit olan Güneş, yörüngede dolaşan Dünya mıdır? Eğer her hareket göreli ise bu soruya verilebilecek doğru bir yanıt yoktur.

Hareketin göreli oluşunun bir sonucu olarak, bir şeyin hareket halinde veya hareketsiz görülebilmesi, hareketin nedenlerini açıklamayı zorlaştırır. Eğer Dünya'nın hiç hareket etmediğini

öne süren farklı ve aynı derecede geçerli bir başka görüş varsa, nasıl bir şeyin Dünya'yı, Güneş çevresinde döndürdüğünü söyleyebiliriz ki? Eğer hareket göreli ise bir gözlemci tüm hareketlerin kendisine göre tanımlandığı bir bakış açısını benimsemekte serbesttir. Bu çıkmazdan kurtulmak ve hareketin nedenlerinden bahsedebilmek için Newton, konumun mutlak bir anlamı olması gerektiğini ileri sürdü. Newton bunu, "mutlak uzay" dediği kavrama göre sahip olunan konum olarak görüyordu. Cisimler, bu mutlak uzaya göre ya mutlak anlamda hareket halindedir ya da değildir. Newton, mutlak biçimde hareket edenin Güneş değil, Dünya olduğunu iddia ediyordu.

Mutlak uzay ön kabulü, sonsuz gerilemeyi (bir ön kabulün doğruluğunu gösterirken geriye dönük sonsuz sayda bir dizi ön kabul ile karşılaşma durumu için kullanılan bir terimdir) durdurarak evrendeki her şeyin konumuna, başka bir şeye atıfta bulunmaya gerek kalmadan anlam kazandırır. Bu görüş, rahatlatıcı olabilir ama bir sorunu vardır. Bu mutlak uzay nerededir ve bir cismin konumunu bu uzaya göre nasıl ölçeriz?

Hiç kimse mutlak uzayı görmüş veya saptamış değildir. Hiç kimse göreli olmayan bir konumun ölçümünü de yapmamıştır. Bu yüzden fizik denklemlerinin mutlak uzaydaki konuma atıfta bulunması halinde, bu denklemlerle deneyler arasında bir bağlantı kuramayız.

Newton, bu durumun farkındaydı ve bundan rahatsızlık duymuyordu. Kendisi çok dindar bir düşünürdü ve mutlak uzay onun için dinsel bir anlam taşıyordu. Tanrı, Dünya'yı mutlak uzay bağlamında görüyordu ve bu, Newton için yeterliydi. Hatta bu fikri daha da kesin bir şekilde ifade edecekti: Uzay, Tanrının duyularından biriydi. Cisimler, Tanrının zihninde mevcut oldukları için uzayda da mevcuttu.

Newton gibi usta bir şifre çözücü iseniz bu, ilk bakışta göründüğü kadar tuhaf bir fikir değildir. Kutsal Kitaplardaki gizli anlamları bulmaya yıllarını adamıştı ve bir simyacı olarak erdemin, belki de ölümsüzlüğün gizli şifresini arıyordu. Bir fizikçi olarak, evrendeki tüm hareketleri yöneten ama o zamana ka-

dar gizli kalmış evrensel yasaları ortaya çıkarmıştı. Uzayın özünün bizim duyularımızdan gizli ama Tanrı tarafından görülebilir olduğu inancı karakterine uygun bir inançtır.

Ayrıca mutlak uzayı destekleyen fiziksel bir savı da vardı. Mutlak uzaydaki konum, insanlar tarafından algılanamasa da mutlak uzaya göre gerçekleşen bazı hareket tipleri algılanabilirdi.

Çocuklar uçamaz ama kendi etraflarında dönebilir. Hem de nasıl! Hiçbir şey kendi başını döndürebileceğini keşfeden bir çocuğun yüzündeki sevince benzemez. Canı ne zaman isterse tekrar tekrar dönüp durur! Newton'un çocuğu yoktu ama çalışma odasında dönen küçük yeğeni Catherine'in sevinci karşısında dilini yuttuğunu hayal etmek hoşuma gidiyor. Newton sendeleyen, gülen çocuğu dizine oturtup ona baş dönmesinin mutlak uzayı doğrudan algılamak anlamına geldiğini söylüyor. Mutlak uzay da Tanrıdır. "Başın döndüğünde hissettiğin şey Tanrının sana değen elidir" diyor. Newton eşyalara, eve veya kediye göre döndüğü için değil, uzayın kendisine göre döndüğü için başının döndüğünü açıklarken Catherine kıkır kıkır gülüyor. Eğer uzay, Catherine'in başını döndürebiliyorsa gerçek olmalıdır. "Niye?" diye soruyor Catherine, kediyi odadan kovalamak için dayısının kucağından atlarken. Şimdi biz, Newton'u orada, kütleçekimini ve ölümlülüğü düşünürken bırakıp hareketi nasıl tanımladığımız sorusuna geri dönelim.

Bir şeyin hareket ettiğini söylediğimizde kastettiğimiz, o şeyin zaman içerisinde konumunu değiştirdiğidir. Buraya kadarı sağduyudan ibaret ama eğer daha kesin konuşmak istersek zaman derken ne kastettiğimizi bildiğimizden emin olmamız gerekir. Bu noktada, ilişkisel ile mutlak arasındaki ikilem yeniden karşımıza çıkar.

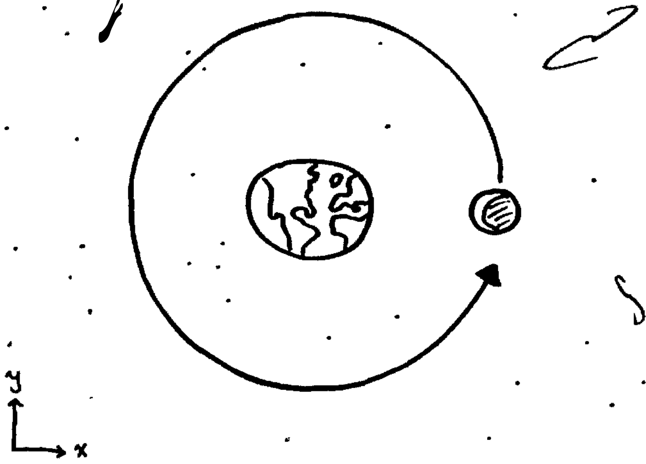
İnsanoğlu zamanı, değişim olarak algılar. Bir olayın meydana geldiği zaman diğer olaylara örneğin, bir saat kadranındaki sayılara göre ölçülür. Nasıl adresler göreli konumları gösteriyorsa saatler ve takvimlerdeki tüm değerler de göreli zamanları gösterir. Ama Newton, değişimin arkasında gizli ve Tanrı tarafından algılanan mutlak bir zaman olduğuna inanıyordu.

O günden bu yana mutlak zamana ilişkin olarak devam eden tartışmalara küçük bir örnek verelim. Newton'un rakibi Gottfried Leibniz de Tanrıya inanıyordu ama onun Tanrısı, Newton'unki gibi her istediğini yapmakta özgür değildi. Leibniz, son derece akılcı bir Tanrıya inanıyordu. Ama eğer Tanrı mükemmel derecede akılcı ise doğadaki her şeyin bir nedeni olmalıdır. Leibniz'in yeterli neden ilkesi işte budur. İlkeyi ifade etmenin bir yolu da şudur: "Evren neden öyle değil de böyle?" biçimindeki tüm soruların akılcı bir yanıtı olmalıdır. Elbette bazı sorulara akılcı bir yanıt vermek mümkün değildir. Leibniz'in söylemek istediği, akılcı bir yanıtı olmayan sorular sormanın hatalı düşünmek anlamına geldiğiydi.

Leibniz, ilkesini açıklarken şöyle sorar: "Evren neden aslında başladığı zaman değil de on dakika sonra başlamamıştır?" Verdiği yanıt, içindeki her şeyin on dakika sonra meydana geldiği bir evren tarihini tercih etmek için akılcı bir neden olamayacağıdır. Her iki evrende de tüm göreli zamanlar aynı olacaktır; yalnızca mutlak zamanlar farklıdır. Ama doğa yasaları yalnızca göreli zamanlardan bahseder. Dolayısıyla diye devam eder Leibniz, eğer evrenin bir mutlak zamanda değil de ötekinde başlamasını tercih etmek için bir nedeni yoksa mutlak zamanın da bir anlamı olamaz.

Ben, Leibniz'in akıl yürütmesini kabul ettiğimden zamana atıfta bulunurken hep göreli zamanı kastediyor olacağım. Aslına bakılırsa içinde mutlak zamanın var olduğu doğal sınırların ötesinde bir algı bulunup bulunmadığını tartışmamız mümkün olsa da kesin olan tek şey şudur: gerçek dünyada yaşayan biz insanlar yalnızca göreli zamana erişebiliriz. Bu yüzden, hareketleri betimlerken zamanın saatlerle ölçüldüğünü kabul edeceğiz. Bu kitapta saat, giderek artan bir sayı dizisini gösteren herhangi bir araç anlamında kullanılacaktır.

Artık hem zamanı hem de konumu tanımladığımıza göre hareketi ölçmeye başlayabiliriz: Hareket, bir referans cismine göre ölçülen konumda, bir saatin gösterdiği değere göre ölçülen zaman dilimi içerisinde meydana gelen değişimdir.



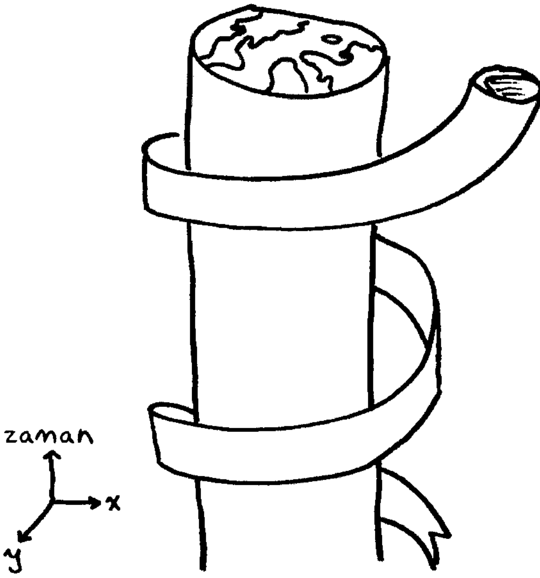
Şekil 4: Ay'ın, Dünya çevresindeki yörüngesinin grafiği.

Bu tanım bizi, savımızın bir sonraki hayati önem taşıyan adımına getirir. Yalnızca tanım yapmak ve kavramlar hakkında tartışmalarda bulunmak bilim yapmak için yeterli değildir. Hareketleri ölçmeniz gerekir. Bu, konumları ve zamanları sayılar ile ilişkilendirmek için saat ve cetvel gibi araçlar kullanmak anlamına gelir.

Görünmeyen mutlak konumun aksine, göreli uzaklıklar ve göreli zamanlar sayılarla ölçülebilir ve sayılar da bir parça kâğıt üzerine ya da dijital bir belleğe kaydedilebilir. Böylece, harekete ilişkin gözlemler, matematiksel yöntemlerle incelenebilen sayı tablolarına dönüştürülür. Söz konusu yöntemlerden biri, kayıtların grafiğini çıkartmak, böylece sayı tablolarını anlayışımızı ve hayal gücümüzü tetikleyecek resimlere dönüştürmektir.

René Descartes tarafından geliştirilen bu güçlü yöntem, okul çağındaki tüm çocuklara öğretilir. Kuşkusuz Kepler de Mars'ın yörüngesine ilişkin olarak Tycho tarafından elde edilen veriler üzerinde çalışırken bu yöntemden yararlanmıştır. Şekil 4'te Ay'ın, Dünya göre olan yörüngesinin bir grafiğini görüyoruz.

Okulda hareketi çizmenin ikinci bir yolunu öğreniriz: zamanı gösteren bir eksen ilave ederek zamana göre konumun grafiğini çizeriz. Bu sayede yörüngeyi, Şekil 5'teki gibi uzay ve zaman



Şekil 5: Ay yörüngesinin uzay ve zaman içerisinde bir eğri olarak grafiği.

içerisinde bir eğri olarak gösterebiliriz. Ay'ın yörüngesinin bir spiral ile temsil edildiğini görüyoruz; başlangıç noktasına döndüğünde bir ay geçmiş oluyor.

Dikkat ederseniz gözlemler grafiğe döküldüğünde olağanüstü bir şey gerçekleşir. Şekil 5'teki eğri, zaman içerisinde bir şey gelişirken alınan ölçümleri temsil eder ama ölçümlerin kendileri zaman dışıdır. Başka bir deyişle ölçümler bir kez alındıktan sonra artık değişmez. Ayrıca onları temsil eden eğri de zaman dışıdır. Böylece hareketi (yani Dünya'daki değişimi), değişmeyen nesneleri inceleyen bir bilim olan matematiğin konusu haline getirmiş olduk.

Zamanı bu şekilde dondurma becerisi bilim için önemli bir yardımcıdır, çünkü hareketin gerçek zamanda gerçekleşmesini beklememiz gerekmez; geçmişteki hareketlerin kayıtlarını istediğimiz zaman inceleyebiliriz. Ama sağladığı yararın ötesinde, zamanın bir yanılsama olduğu savını desteklediği için bu buluşun çok önemli felsefi sonuçları olmuştur. Zamanı dondurma yöntemi öyle işe yarar ki çoğu fizikçi doğa anlayışlarının oyuna getirildiğini fark etmez. Bu oyun, zamanın doğa betimlemesinden sü-

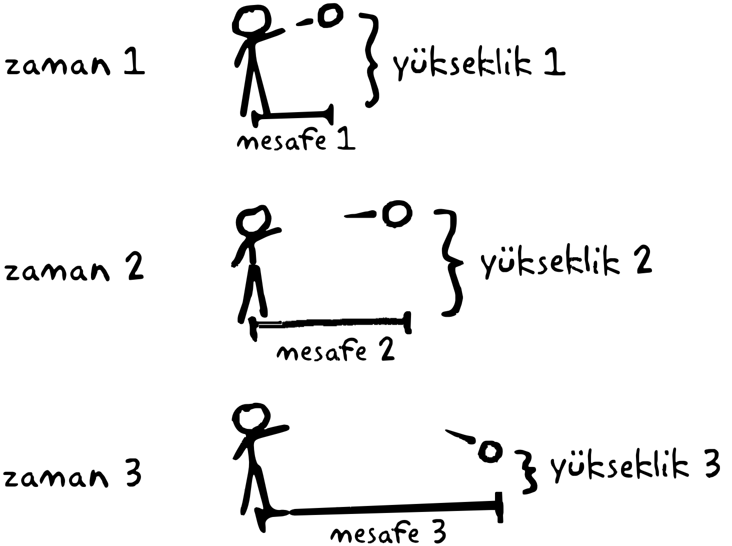
rülmesindeki önemli bir adımdı, çünkü bizi gerçek ile matematiksel olan şeyler yani zamana bağlı ile zaman dışı olan şeyler arasındaki karşılıklı ilişki hakkında düşünmeye davet ediyordu.

Bu karılıklı ilişki o kadar önemlidir ki onu günlük hayattan bir örnekle anlatmak istiyorum. Tüm bu ağır konular, aslında bir top yakalama oyunu hakkında neleri bilebileceğimizle ilgilidir.



4 Ekim 2010'da saat 13.15 civarında, Toronto'daki High Park'ın doğu yakasında, Danny adında bir yazar o sabah çorap çekmecesinde bulduğu bir tenis topunu, yeni tanıştığı bir şair olan Janet'a attı.

Danny'nin atışını fizik gözüyle incelemek için Tycho ile Kepler'in, Mars için yaptıklarını tekrarlarız. Hareketi gözlemleyerek topun bir dizi an boyunca bulunduğu konumu kaydeder, sonra da sonuçların grafiğini çıkartırız. Bunu yapabilmek için topun konumunu bir nesneye göre belirtmemiz gerekir; bu amaçla Danny'nin kendisini kullanabiliriz. Bir de saate ihtiyacımız var.



Şekil 6: Danny'nin atışının ölçümü.

Top hızlı hareket eder. Bu hız, Galileo için bir problemdi. Ama biz, Danny'nin atışını kolaylıkla filme alıp topun her film karesindeki konumunu ve film karesinin zamanını ölçebiliriz. Topun bir karedeki konumundan iki sayı elde ederiz: topun yerden yüksekliği ve topla Danny arasındaki yatay mesafe. (Elbette uzay üç boyutludur, bu nedenle Danny'nin topu hangi yönde attığını da betimlememiz gerekir. Topu güneye doğru attığını söylemek dışında burada bu güçlüğü göz ardı edeceğim.) Her karenin zamanını da dikkate aldığımızda, topun izlediği yolun kaydı, filmin her karesi için üçer sayıdan oluşan bir dizi haline gelir.

(zaman 1, yükseklik 1, uzaklık 1)
(zaman 2, yükseklik 2, uzaklık 2)
(zaman 3, yükseklik 3, uzaklık 3)

Vesaire.

Hareketi bilimsel olarak incelemek istiyorsak bu sayı listeleri önemli araçlardır. Ama bu sayı listeleri, hareketin kendisi değildir. Bunlar sadece sayıdırlar, belirli bir anda havada ilerleyen bir top üzerinde yaptığımız ölçümler olmaları dışında bir anlam taşımazlar. Gerçek olgu ile bu olgunun kaydını yansıtan sayı listesi arasında birkaç fark vardır. Örneğin, topun birçok özelliği göz ardı edilmiştir. Biz yalnızca topun konumunu kaydettik, oysa topun bir rengi, ağırlığı, biçimi, büyüklüğü ve bileşimi de vardır. Daha da önemlisi olgu, zaman içerisinde meydana geldi: Yalnızca bir kez gerçekleşti, sonra da geçmişe karıştı. Geriye donmuş ve değişmeyen kayıtlar kaldı sadece.

Bir sonraki adım, kayıttaki bilgileri grafiğe dökmektir. Şekil 7, topun uzayda izlediği yolun bir resmidir. Topun, tıpkı Galileo'nun öngördüğü gibi, uçarken bir parabol çizdiğini görüyoruz.

Bir kez daha görüyoruz ki zaman içerisinde yer alan bir *hareketi* kaydetme süreci, zamanda donmuş bir *kayıtla*, yine zamanda donmuş bir grafik üzerinde bir eğriyle gösterebileceğimiz bir kayıtla sonuçlanmaktadır.



zaman	mesafe	yükseklik
1		
2		
3		

Şekil 7: Danny'nin atışının kayıtları ve grafiği.

Bazı filozof ve fizikçiler bunu, gerçekliğin doğasına ilişkin derin bir kavrayış olarak görür. Bazıları ise tam aksini savunur: matematik yalnızca bir araçtır ve onun yararlı oluşu doğayı temelde matematiksel olarak görmemizi gerektirmez. Birbirleriyle çatışan bu seslere *gizemci* ve *faydacı* adını verebiliriz.

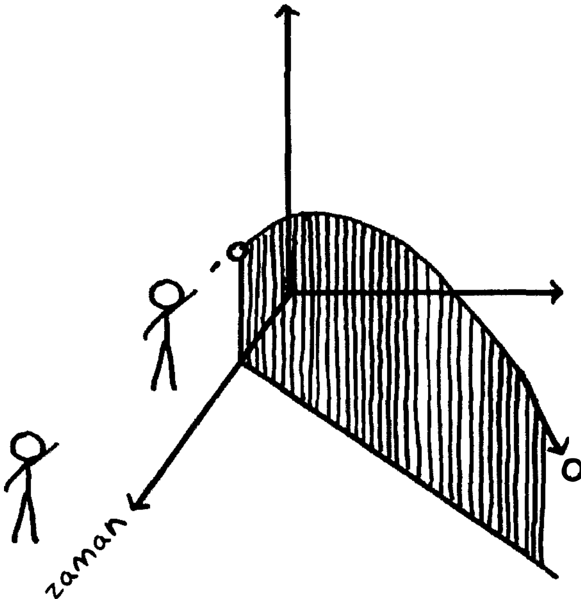
Faydacı, hareket kanunlarına ilişkin hipotezleri kontrol etmek için hareketi sayı tablolarına dönüştürüp bu tablolarda örüntüler aramakta bir sakınca olmadığını ileri sürecektir. Ama faydacı, ısrarla, hareketin matematiksel olarak bir eğri ile gösterilmesinin, hareketle gösterimin bir şekilde özdeş olduğu anlamına gelmediğini söyleyecektir. Hareket zaman içerisinde yer alırken matematiksel gösteriminin zaman dışı olması, ikisinin aynı şey olmadığı anlamına gelir.

Newton'dan sonraki bazı fizikçiler, matematiksel eğrinin hareketin kendisinden "daha gerçek" olduğu yönündeki gizemci görüşü benimsemiştir. Daha derin, matematiksel bir gerçeklik

kavramının cazibesi, gelip geçici bir deneyimler dizisinin aksine, bu gerçekliğin zaman dışı olmasından kaynaklanır. Gösterim ile gerçekliği bir tutma ve hareketin kayıtlarından elde edilen grafiği hareketin kendisiyle özdeşleştirme tuzağına düşen bu bilim insanları, zamanın doğa anlayışımızdan sürülmesi yolunda büyük bir adım atmıştır.

Şekil 5'te yaptığımız gibi, zamanı bir grafiğin eksenlerinden biri olarak gösterirsek karışıklık daha da içinden çıkılmaz bir hal alır. Şekil 8, Danny'nin attığı topun izlediği yola dair bilgileri, saat kadranında okuduğumuz sayıları da içerecek şekilde, bir cetvelle yapılan ölçümlermiş gibi göstermektedir. Buna zamanın uzaya dönüştürülmesi diyebiliriz.

Uzaya ve zamana ilişkin gösterimlerin her biri kendi eksenine sahip olacak şekilde matematiksel olarak birleştirilmesine de *uzay-zaman* adı verilebilir. Faydacı, bu uzay-zamanın gerçek dünya olmadığında ısrar edecek ve bunu, Danny'nin topu,



Şekil 8: Danny'nin atışının uzay ve zaman içerisinde bir eğri olarak grafiği.

Janet'a atması sürecine ilişkin elimizdeki kayıtların başka bir şekilde gösterilmesinden ibaret, insanlar tarafından yapılmış bir buluş olarak görecektir. Eğer uzay-zamanı gerçeklikle karıştırırsak bir yanılgıya düşmüş oluruz; bu yanılgıya zamanın uzaya dönüştürülmesi yanılgısı denebilir. Söz konusu yanılgı, zaman içerisindeki hareketin kayıtları ile zamanın kendisi arasındaki ayrımın unutulmasının bir sonucudur.

Bir kez bu yanılgıya düşünce evrenin zaman dışı olduğunu ve hatta sadece matematikten ibaret olduğunu hayal etmekte özgürsünüz. Ama der faydacı, zaman dışılık ve matematik, harekete ilişkin gösterimlerin özellikleridir, daha fazlası değil. Bunlar, gerçek hareketlerin özellikleri değildir ve olamazlar. Gerçekten de hareketin "zaman dışı" olduğunu iddia etmek anlamsızdır çünkü hareket, zamanın bir ifadesinden *başka bir şey değildir.*

Bir matematiksel nesnenin asla evrenin tarihini tamamıyla gösteremeyecek olmasının basit bir nedeni vardır: evren, hiçbir matematiksel gösterimde bulunması mümkün olmayan bir özelliğe sahiptir. Gerçek dünyada daima bir zaman, bir şimdiki an içindeyiz. Hiçbir matematiksel nesne bu özelliğe sahip olamaz çünkü tüm matematiksel nesneler, bir kez ortaya atıldıktan sonra artık zaman dışıdır.[1]

Peki, kim haklı, faydacı mı, gizemci mi? Fizik ile kozmolojinin geleceği işte bu soruya bağlı.

Kutuda Fizik Yapmak

LİSEDEYKEN JEAN-PAUL SARTRE'IN *Gizli Oturum* adlı oyununda bir rolüm vardı. İki kadınla birlikte küçük bir odaya kilitlenmiş bir adam olan Joseph Garcin'i oynuyordum, hepimiz ölüydük. Oyun, uç noktada bir *kutuda toplum* yaklaşımı sergiliyordu; oyunda ahlaki seçimlerimizin sonuçları inceleniyordu. Oyunun doruk noktasında, sınıfın kapısına vurarak ünlü "Cehennem diğer insanlardır!" repliğini haykırmam gerekiyordu. Maalesef kapının camı kırıldı ve oyunculuk kariyerim, üzerime yağan cam parçaları arasında son buldu.

Tiyatro gibi müzik performansları da bizi, kontrollü bir ortamda yalıtarak insan duygularının derinlemesine incelenmesini mümkün kılar. Bir delikanlıyken Greenwich Village'deki Mercer Sanat Merkezi'nin bodrum katında, kuzenimin müzik grubu İntihar'ın korkutucu bir performansını dinlediğimi hatırlıyorum. Solist kapıları kilitlemiş ve garaj-rock klasiği *96 Tears*'in akorlarının bayıltıcı bir tekrarı eşliğinde nedensiz bir cinayeti andıran uzun bir arya söyleyerek dinleyicileri büyülemişti. Solistin tehditkâr tavırları arttıkça atmosfer giderek daha klostrofobik bir hal alıyordu, *Gizli Oturum*'daki karakterler gibi mahsur kalmıştık. Daha yakın dö-

nemde, bu klostrofobi-aracılığıyla-kavrama yöntemi, bir sanatçı ile bir bilim insanı gibi uyumsuz çiftleri yirmi dört saat boyunca bir odaya kapatıp olan biten her şeyi filme alan kavramsal sanatçılar tarafından benimsenen bir yöntem olmuştur.[1]

Hem oyunlardaki hem de performanslardaki yalıtılma hissi sahtedir. Yeterince çabalayan herkes istediği zaman kolayca dışarı çıkabilir. Ancak bunu yapmayız, çünkü kendimizi küçültülerek en aza indirgenmiş bir toplumun zorluklarına maruz bırakarak öğrenebileceğimiz birçok şey vardır. Bu açıdan bakıldığında az, aslında çok demektir. Sanat, özeli ayrıntılı bir şekilde incelemek yoluyla evrensele ulaşmaya çalışır[2]. Bunu yapabilmek için genellikle yapay olarak kısıtlanmış bir ortama ihtiyacı vardır.

Aynı şey fizik için de geçerlidir. Doğa hakkındaki bilgimizin büyük kısmı, bir olguyu yapay olarak evrenin sürekli akışı içerisinden ayırıp yalıtarak yapmış olduğumuz deneylerden gelir. Dikkatimizi deney dediğimiz bu en basit olgularla sınırlayarak fiziğin evrensel yasalarını kavramaya çabalıyoruz. Dikkatimizi evrenin küçük bir parçası üzerinde odaklama yöntemi, Galileo'nun zamanından beri fiziğin başarı kazanmasını sağlamıştır. Ben, buna *kutuda fizik yapmak* diyorum. Bu yöntemin çok güçlü yanlarının yanı sıra bazı zayıf yanları da vardır ve her iki yönü de zamanın fizikten sürülmesine ve yeniden doğuşuna ilişkin hikâyemizde önemli rol oynayacaktır.

Daima hareket eden maddeyle dolu, daima değişen bir evrende yaşıyoruz. Descartes, Galileo, Kepler ve Newton'un yapmayı öğrendiği şey, dünyadan küçük parçalar koparıp, bunları incelemek ve ortaya çıkan değişiklikleri kaydetmekti. Konumu ve zamanı adeta dondurulmuş biçimde ve dolayısıyla da acele etmeden inceleyebileceğimiz şekilde temsil eden eksenlere sahip basit grafikler kullanarak bu hareketlerin kayıtlarını nasıl sergileyebileceğimizi bize gösterdiler.

Matematiği fiziksel bir sisteme uygulayabilmek için önce bu sistemi yalıtmamız ve bunları düşüncemizde gerçek evreni oluşturan hareketlerin karmaşasından ayırmamız gerektiğine dikkat

edin. Yalıtma yerine önce evrendeki her şeyin diğer her şeyi nasıl etkilediğini bulmaya çalışsaydık hareketi inceleme yolunda pek bir mesafe kat edemezdik. Galileo'dan Einstein'a ve günümüze dek fiziğin öncüleri, top yakalama oyununda olduğu gibi basit bir alt sistemi yalıtarak topun nasıl hareket ettiğini inceleyebildikleri için ilerleme kaydedebilmişlerdir. Ne var ki gerçek hayatta havadaki top, tanımladığımız sistemin dışındaki şeylerden sayısız biçimde etkilenir. Bir top oyununun basitçe yalıtılmış bir sistem olarak betimlenmesi, gerçek dünyaya yönelik kaba bir tahmin olsa da evrenimizdeki tüm hareketleri belirlediği anlaşılan temel ilkeleri keşfetme konusunda verimli olduğu açıktır.[3]

Dikkatimizi birkaç değişken ya da birkaç nesne veya parçacıkla sınırladığımız bu tür kaba tahminler, kutuda fizik yapmanın özelliklerinden biridir. Kilit adım, tüm evren içerisinden incelenecek olan sistemi seçmektir. Önemli olan nokta, bunun daima daha zengin bir gerçekliğin yaklaşık halinden ibaret olmasıdır.

Top yakalama oyunu için kullandığımız yöntemi, fizikte incelediğimiz çok sayıdaki sistemi kapsayacak şekilde genelleştirmek kolaydır. Bir sistemi incelemek için sistemin içinde ve dışında neler bulunduğunu tanımlamamız gerekir. Sisteme, evrenin geri kalan kısmından tümüyle ayrılmış gibi davranırız ve tek başına bu yalıtım bile önemli bir kaba tahmin niteliğindedir. Bir sistemi evrenden çıkartamayız; dolayısıyla herhangi bir deneyde sistemimiz üzerindeki dış etkileri sadece azaltabilir ama asla tümüyle yok edemeyiz. Çoğu durumda deneyleri, yalıtılmış sistemin işe yarar bir düşünsel yapı olacak şekilde idealleştirilmesine yetecek doğrulukta gerçekleştirebiliriz.

Alt sistem tanımının bir bölümü, herhangi bir anda sisteme dair bilmek istediğimiz her şeyi belirlemek için ölçmemiz gereken tüm değişkenlerin listesinden oluşur. Bu değişkenlerin listesi, *sistemin konfigürasyonu* adını verdiğimiz bir soyut kavramı oluşturur. Tüm olası konfigürasyonlardan oluşan kümeyi temsil etmek için de konfigürasyon uzayı dediğimiz soyut bir uzay tanımlarız. Konfigürasyon uzayının her noktası, olası bir sistem konfigürasyonunu temsil eder.

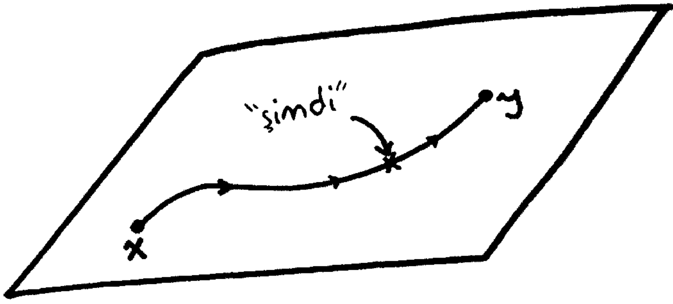
Konfigürasyon uzayını tanımlama süreci, alt sistemin evrenin geri kalanından çıkartılması ile başlar. Bu nedenle konfigürasyon uzayı, daima daha derin ve daha eksiksiz bir betimlemenin yaklaşık halidir. Konfigürasyon da bunun bir konfigürasyon uzayındaki gösterimi de birer soyutlamadır. Bunlar, kutuda fizik yapma yöntemi açısından faydalı insani buluşlardır.

Bir bilardo oyununu betimlemek için iki boyutlu bir masa üzerindeki on altı topun konumlarını kaydetmeyi tercih edebiliriz. Tek bir topun masadaki yeri, iki sayı ile belirlenir (topun masanın uzunluğuna ve genişliğine göre olan konumları) yani tüm konfigürasyon için otuz iki sayı gerekecektir. Konfigürasyon uzayında, ölçülmesi gereken her sayı için bir boyut bulunur, demek ki bilardo oyununda otuz iki boyutlu bir uzay söz konusudur.

Fakat gerçek bir bilardo topu aslında son derece karmaşık bir sistemdir, bu nedenle tek bir konuma sahip tek bir nesne olarak gösterilmesi aslında çok kaba bir tahmindir. Bir bilardo oyununu daha kesin bir şekilde betimlemek isterseniz, yalnızca topların değil, her toptaki tüm atomların konumlarını kaydetmelisiniz. Bunun için en az 10^{24} sayı gerekir ve dolayısıyla da bir o kadar boyuta sahip bir konfigürasyon uzayına ihtiyacınız vardır. Ama neden orada bırakalım ki? Eğer atom seviyesinde bir betimleme isteniyorsa, masadaki tüm atomların, topa çarpan havadaki tüm atomların, odayı aydınlatan tüm fotonların konumlarını da dâhil etmelisiniz. Üstelik kütleçekimleri ile topları etkileyen Dünya'daki, Güneş'teki ve Ay'daki tüm atomlar neden dikkate alınmasın ki? Kozmolojik bir betimlemeden daha dar kapsamlı tüm betimlemeler yaklaşık olarak belirlenmiş birer kaba tahminden ibaret olacaktır.

Alt sisteme dâhil edilmeyen bir başka unsur, gözlemin yapıldığı anı belirlemekte kullandığımız saattir. Saat, alt sistemin bir parçası olarak kabul edilmez çünkü alt sistemde ne olursa olsun yeknesak bir şekilde tıkladığı varsayılır. Saat, bize alt sistemin hareketini kaydetmekte kullanacağımız bir standart sağlar.

Sistemin dışındaki bir saatin kullanılması, zamanın ilişkisel olduğu düşüncesine aykırıdır. Sistemdeki değişiklikler, dış saate



Şekil 9: Konfigürasyon uzayı ve bu uzay içindeki bir tarih. X, zamanda bir anı gösterir.

bakılarak ölçülür ama sistemde meydana gelen hiçbir şeyin dış saati etkilemediği kabul edilir. Bu işimize gelen bir varsayımdır ama yalnızca sistem ile sistemin dışında kalan saatler de dâhil her şey arasındaki tüm etkileşimleri göz ardı eden kaba bir tahminde bulunduğumuz zaman kullanabileceğimiz bir yaklaşımdır.

Bu yöntemi gereğinden fazla ciddiye alırsak tüm evrenin dışarısında kalan bir saat aracılığıyla evrendeki değişimi ölçebileceğimizi düşünürüz. Bu yol, bizi tüm evrenin kendi dışından kaynaklanan mutlak bir zaman kavramına göre evrildiğine inanmak gibi büyük bir kavramsal hataya götürür. Newton, ortaya attığı fizik yasalarının Tanrının gözünden bütün evreni yansıttığı hayaline kapıldığı için bu hataya düşmüştü. Bu hata, Einstein, saati, görelilik kuramı kapsamında evrenin içine koymanın bir yolunu bulana kadar devam etti. Aynı hataya tekrar düşmememiz gerekir.

Ancak çok ciddiye almadığımız sürece, bir dış saatin ölçümlerine göre evrilen ufak bir evren parçası kabulü, faydalı bir kaba tahmindir. Ölçüm yaptığımız her an, o anki konfigürasyonu gösteren bir dizi sayı elde ederiz; bu sayılar konfigürasyon uzayındaki bir noktayı tanımlar. Zaman ölçümlerinin büyük bir hızla yapıldığını varsayarsak, bu noktalar kümesini konfigürasyon uzayında bir eğri olarak gösterebiliriz (bkz. Şekil 9). Bu eğri, bir alt sisteme ait konfigürasyonların ölçülmesi sonucunda elde edilen bir tarihi temsil eder.

Danny'nin, Janet ile oynadığı top yakalama oyunda fırlattığı top örneğinde de gördüğümüz gibi, zaman ortadan kaybolmuştur. Geriye kalan, *olası konfigürasyonlar* uzayındaki bir çizgidir. Bu çizgi, geçmişte meydana gelmiş bir şey hakkındaki kayıtlarda yer alan bilgileri özetleyen bir eğridir. Sonuçta, alt sistemin hareketini yani zamanda yalnızca bir kez meydana gelen bir hareketi, zaman dışı bir matematiksel nesne ile yani alt sisteme ait olası konfigürasyonlar uzayındaki bir eğri ile göstermiş oluruz.

Konfigürasyon uzayı, zaman dışıdır; sonsuza dek orada öylece kalacağı varsayılır. Ondan "olası konfigürasyonlar uzayı" diye bahsederken, istersem alt sistemi herhangi bir anda o konfigürasyonlardan herhangi birine koyabileceğimi kastediyorum. Bu durumda, sistemin tarihi o başlangıç konfigürasyonundan itibaren başlayan bir eğri ile gösterilir. Söz konusu eğri, bir kez çizildikten sonra artık zaman dışıdır. Bu noktada, kilit sorumuza geri dönüyoruz: Gösterimde zamanın ortadan kaybolması gerçekliğin doğasına ilişkin önemli bir özellik midir, yoksa evrenin küçük parçalarını yaklaşık olarak betimleme yöntemimizin yanıltıcı ve istem dışı ortaya çıkan bir sonucu mudur?



Newton, hareketi betimlemenin ötesine geçmiş, hareketi öngörebilmenin de bir yolunu bulmuştur. Galileo, havaya fırlatılan bir topun çizdiği eğrinin bir parabol olduğunu keşfetmişti. Newton ise eğrinin çok çeşitli örneklerde nasıl görüneceğini saptamamızı sağlayan bir yöntem geliştirdi. Newton'un üç hareket yasasının içerikleri işte budur. Bu yasalar, şu şekilde özetlenebilir:

Bir topun nasıl hareket edeceğini öngörmek için üç bilgiye ihtiyacımız vardır:

- Topun başlangıçtaki konumu;
- Topun başlangıçtaki hız vektörü (yani ne kadar hızlı olduğu ve hangi yöne gittiği);
- Top hareket halindeyken maruz kalacağı kuvvetler.

Bu üç veri elimizdeyse, Newton'un hareket yasalarından faydalanarak topun gelecekte izleyeceği yolu öngörebiliriz. Bir bilgisayarı bu işlemleri bizim yerimize yapması için programlayabiliriz. Üç girdiyi bilgisayara verirseniz, size topun izleyeceği yolun çıktısını gösterecektir. Newton yasalarının "çözümünden" bahsettiğimizde kastettiğimiz işte budur. Bir çözüm, konfigürasyon uzayındaki bir eğridir. Sistemin, hazırlandığı ya da ilk kez gözlemlendiği andan itibaren başlayan bir tarihini temsil eder. Bu ilk an, başlangıç koşulu adıyla bilinir. Başlangıçtaki konumu ve hız vektörünü verdiğinizde, başlangıç koşulunu betimlemiş olursunuz. Daha sonra yasalar devreye girerek sistemin tarihinin bundan sonraki kısmını belirler.

Bir yasanın, sonsuz sayıda çözümü vardır. Her çözüm, sistemin yasalara uyan olası bir tarihini betimler. Başlangıç koşullarını verdiğinizde, belirli bir deneyi hangi tarihin betimleyeceğini de saptamış olursunuz. Bu nedenle geleceği öngörmek veya bir şeyi açıklamak için yalnızca yasaları bilmek yeterli değildir; başlangıç koşullarını da bilmeniz gerekir. Laboratuvar deneylerinde bunu yapmak kolaydır çünkü deneyci, sistemi belirli bir başlangıç koşulu ile başlayacak şekilde hazırlar.

Galileo'nun düşen cisimler yasası, Danny'nin attığı topun bir parabol izleyeceğini söyler. Ama top nasıl bir parabol izleyecektir? Bu sorunun yanıtı, Danny'nin topu hangi hızla, hangi açıda ve hangi konumdan attığına, yani başlangıç koşullarına bağlıdır.

Bu yöntemin bir konfigürasyon uzayı aracılığıyla betimleyebildiğimiz tüm sistemler için geçerli genel bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Sistem saptandıktan sonra aynı üç girdiye ihtiyaç vardır:

- *Sistemin başlangıçtaki konfigürasyonu.* Bu bilgi bize, konfigürasyon uzayında bir nokta verir.
- *Sistemdeki değişikliklerin başlangıçtaki yönü ve hızı.*
- Sistemin zamanla değişirken maruz kalacağı kuvvetler.

Newton yasaları, bunlara dayanarak sistemin konfigürasyon uzayında tam olarak hangi eğriyi izleyeceğini öngörür.

Newton'un yönteminin genel uygulanabilirliğini ve tahmin gücünü hafife almak mümkün değildir. Söz konusu yöntem, yıldızlar, gezegenler, uydular, gökadalar, yıldız kümeleri, gökada kümeleri, karanlık madde, atomlar, elektronlar, fotonlar, gazlar, katılar, sıvılar, köprüler, gökdelenler, arabalar, uçaklar, yapay uydular ve roketlere uygulanmıştır. Bir, iki ya da üç cisimden oluşan sistemler için de 10^{23} ya da 10^{60} parçacıktan oluşan sistemler için de geçerli olmasının yanı sıra tanımları sonsuz sayıda değişkenin (örneğin, uzaydaki her noktada bulunan elektrik alanı ve manyetik alanın) ölçülmesini gerektiren elektrik alan gibi alanlar için de geçerlidir. Ayrıca sistemi tanımlayan değişkenler arasındaki çok sayıda olası kuvveti veya etkileşimi de betimlemiştir.

Bu temel yöntem, aynı zamanda bilgisayar biliminde de uygulanmakta ve bilgisayar dilinde hücresel otomasyon çalışmaları adıyla tanınmaktadır. Çok az değiştirilmiş biçimi ise kuantum mekaniğinin temelini oluşturmaktadır.

Bu yöntemin sahip olduğu güç nedeniyle onun bir paradigma olduğunu söyleyebiliriz.

Paradigmaya, onu bulan kişinin adını verelim: *Newton paradigması.* Bu, kutuda fizik yapma yönteminden bahsetmenin daha resmi bir yoludur.

Ana hatlarıyla Newton paradigması, iki temel soruya verilen yanıtlardan oluşur:

- Sistemin olası konfigürasyonları nelerdir?
- Her konfigürasyonda sistemin maruz kaldığı kuvvetler hangileridir?

Olası konfigürasyonlara *başlangıç koşulları* da denir, çünkü süreci başlatmak için bunları belirtmemiz gerekir. Kuvvetleri ve bu kuvvetlerin etkilerini betimlemekte kullandığımız kurallara *hareket yasaları* adı verilir. Bu yasalar, denklemlerle ifade edilir. Başlangıç koşullarını denklemlere girdiğinizde denklemler size, sistemin gelecekteki gelişimini gösterir. Buna denklemlerin çö-

zümü adı verilir. Böyle sonsuz sayıda çözüm vardır çünkü olası başlangıç koşullarının sayısı da sonsuzdur.

Bu güçlü yöntemin, bazı güçlü varsayımlara dayandığını unutmamalıyız. İlk varsayım, konfigürasyon uzayının zaman dışı olduğu varsayımıdır. Bir yöntemin bize, tüm olası konfigürasyonlar kümesini önceden yani sistemin fiili gelişimini izlememize gerek kalmadan, verebileceği varsayılır. Olası konfigürasyonlar gelişmez, zaten mevcutturlar. İkinci bir varsayım, kuvvetlerin ve dolayısıyla sistemin maruz kaldığı yasaların zaman dışı olduğudur. Zamanla değişmezler ve muhtemelen onları da sistemin fiilen incelenmesinden önce belirlemek mümkündür.

Bu noktada alınması gereken ders, basit olduğu kadar ürkütücüdür de. Newton paradigmasının altında yatan varsayımlar doğada hayat buldukları ölçüde, zaman temel değildir ve doğayı betimlerken göz ardı edilebilir. Eğer olası konfigürasyonlar uzayı da yasalar da zaman dışı bir şekilde belirlenebiliyorsa bu durumda herhangi bir sistemin tarihinin zamanla evrildiğini düşünmek gereksizdir. Fiziğin sorabileceği tüm soruları yanıtlamak için herhangi bir sistemin tüm tarihini, konfigürasyon uzayındaki tek bir donmuş eğri olarak görmek yeterli olacaktır. Doğayı deneyimlememizin en temel gibi görünen yönü (yani doğanın bize bir şimdiki anlar dizisi şeklinde görünüyor olması) doğayı betimlerken kullandığımız bu en başarılı paradigmada yer almamaktadır.

Hikâyemize, üzerine mor mürekkeple bir telefon numarası yazılmış bir tenis topuyla 4 Ekim 2010 tarihinde, High Park'ta, Danny ve Janet adlarında bir yazar ve bir şair arasında oynanan top yakalama oyununu seyrederek başladık. Topun nasıl hareket ettiğini anlamamız ise soyut bir uzayda renksiz bir eğri içeren zaman dışı bir resmi seyretmekten ibarettir.

Yeniliğin ve Sürprizin Sürülmesi

Newton paradigmasının kutuda fizik yapmaya yönelik genel bir yöntem olarak ortaya atılması, zamanın bu topraklardan sürülmesindeki kilit adımlardan biriydi. Bu sürecin sonuçlarından biri, Pierre-Simon Laplace tarafından ifade edilen meşhur determinizm savıdır. Laplace, evrendeki tüm atomların konumları ve hareketleri, bir de maruz kaldıkları kuvvetlerin mükemmel bir betimlemesi elinde olsa, evrenin geleceğini tam bir kesinlikle öngörebileceğini iddia etmişti. Bu söz, o günden beri pek çok kişiyi geleceğin tamamıyla şu an tarafından belirlendiğine ikna etmiştir.

Ancak bu sav, sorgulanabilecek önemli bir varsayımda bulunur: kutuya her şeyi dâhil ederek Newton yöntemini tüm evreni kapsayacak şekilde genişletebileceğinizi varsayar. Ama kutuda fizik, evrenin küçük bir parçasını ondan soyutlayarak işe başlar. Laplace'ın bu adımı gerçekten de dikkate almaması mümkün müdür?

Parktaki top yakalama oyununa geri dönelim.

Bu kez tarih 14 Ağustos 2062, saat öğleden sonra 3.15 olsun. Danny ile Janet'ın torunu Laura, elindeki frizbiyi Billy ile Roxanne'ın, yine parkın yakınlarında büyüyen kızları

Francesca'ya atacak. Tam Laura frizbiyi fırlatırken, retinasına yerleştirilmiş mikrotelefona gelen bir mesajın ışığı Francesca'nın dikkatini dağıtıyor. Bu durumda Francesca frizbiyi yakalar mı?

Newton paradigmasının doğada harfiyen geçerli olduğunu düşünüyorsanız, Danny ile Janet'ın kimlerle evleneceğinin (anlaşılan birbirleriyle ama tanıştıklarında bunu ikisi de tahmin edemezdi), oğullarının ne zaman doğacağının, onun kiminle evleneceğinin, kızının ne zaman doğacağının ve bu kızın frizbi oynamayı tercih edip etmeyeceğinin daha 2010'da belli olduğuna inanıyorsunuz demektir. Bu insanların hayatlarındaki tüm hareketlerin, tüm düşüncelerin, tüm fikirlerin ve tüm duyguların şimdiden belli olduğuna inanmanız gerekir. Bu listeyi deşifre edecek teknolojiyi hayal etmek imkânsız olsa da dünyaya gelecek tüm insanların listesinin şimdiden çıkartılmış olduğuna inanmanız gerekir.

Parkın karşı yakalarında büyümelerine ve daha beş dakika önce tanışmalarına rağmen, Laura ile Francesca'nın o öğleden sonra frizbi oynayacağının şimdiden, hatta aslında milyarlarca yıl önceden belirlenmiş olduğuna inanmanız yetmez. Retinaya yerleştirilebilen mikrotelefonların geliştirilmesini engellemek için de söz konusu mesajın tam o anda gelip Francesca'nın dikkatini dağıtmasını engellemek için de şimdiden bir şey yapılamayacağına da inanmanız gerekir. Yine de Francesca, frizbiyi yakalar mı? Mikrotelefonun ışığı yanmadan önce onları seyretmekte olan hiç kimsenin bunu bilmesi mümkün değildir ama eğer gelecek belliyse prensipte bu soruyu yanıtlamak için şu an ölçebileceğimiz bir nicelik olmalıdır.

Fizik yasaları ile başlangıç koşullarının birlikte, geleceği en ufak ayrıntısına kadar belirledikleri iddiası müthiş bir iddiadır, çünkü uzun vadede en ufak ayrıntılar bile önemlidir. Her başarılı gebelikte, yaklaşık 100 milyon spermden bir tanesi yumurtayı döller. Bu olay, insanların ortaya çıkmasından bu yana kabaca 100 milyar kere, atalarımızın daha önceki gelişimi boyunca da trilyonlarca defa gerçekleşmiştir. Trilyonlarca 100 milyonda bir olasılık oldukça fazla bilgi demektir ama bunun da çok çok daha fazlasının da çok önceleri evrenin başlangıç koşulları içinde ya-

zılı olduğuna inanmamız gerekir. Üstelik bu, yalnızca küçük bir gezegendeki yaşama ilişkin küçük bir ayrıntıdır.

Newton paradigmasında zaman ortadan kaybolur sözü, kısmen bu anlama gelir. Geçmişte olan, şu anda devam eden ve gelecekte olacak her şey evrenin konfigürasyon uzayındaki önceden belirlenmiş bir eğri üzerindeki noktalardan ibarettir. Zamanın akışı bir yenilik veya sürpriz getirmez, çünkü değişim sadece aynı olguların yeniden düzenlenmesidir.

Evrende yeniliğe ve sürprize yer olacaksa Newton paradigmasında ya da en azından bu paradigmayı evrenin küçük alt sistemlerinin incelenmesinden tüm evrenin tamamıyla betimlenmesine genişletme fikrinde bir hata olmalıdır. Paradigmanın bir sınırı şudur: eğer gelecek başlangıç koşullarına göre belirleniyorsa başlangıç koşullarını neyin belirlediğini bilmeniz gerekir. Evrendeki şeylerin başka şekilde değil de gördüğümüz gibi olmalarının nedenlerini ararken geçmişte gittikçe daha derine dalarsınız.

Geçmişte daha derine indikçe de uzayın Danny ile Janet'ın atalarından her birini etkilemiş olabilecek olayları da içeren ve genişliği giderek artan bir bölgesini dikkate almanız gerekir. Eğer çiftin farklı göçebe kabilelerden iki *homo erectus* atasının şans eseri karşılaşmasına kadar bir milyon yıl geriye giderseniz, Dünya'ya zarar verecek uzaklıkta bir süpernova bulunmadığından emin olmak için 2 milyon ışık yılı çapında bir bölgeyi de incelemeniz gerekir. Dünya üzerinde yaşamın ortaya çıkışına kadar gittiğimizde ise gözlenebilir evrenin önemli bir kısmını incelememiz şarttır.

Dolayısıyla eğer sadece zorunlu değil aynı zamanda yeterli nedenleri de arıyorsak, Danny'nin Janet ile tanışmasına ilişkin yeterli nedenlerin tamamının, bu mutlu olaydan kozmolojik uzaklıklardaki ve zamanlardaki koşulları da içerdiği sonucundan kaçınamayız. Sebep sonuç zincirinde geriye doğru gidildikçe, eninde sonunda tüm evren işin içine girer ve daha sebep sonuç zincirinin sonuna gelmeden kendimizi Büyük Patlama anında buluruz. Yani Danny ile Janet'in tanışmasının temelinde yatan yeterli nedenler, evrenin Büyük Patlama sırasındaki başlangıç koşullarındadır. Demek ki determinizm savının nihai

geçerliliği, kozmolojiyle ilgili bir husustur. Tanışmalarının belirlenip belirlenmediğini, belirlendiyse bunun nasıl olduğunu anlamak istiyorsak, tüm evrene ilişkin bir kurama ihtiyacımız vardır.

Bu noktada determinizm, kutuda fizik yapma yönteminin, evrenin küçük alt sistemleri için geçerli olduğu gerçeğine toslar. Hayatımızdaki şans eseri gibi görünen olayların tamamen geçmişteki koşullar tarafından belirlenip belirlenmediği sorusuna yanıt vermeden önce kuramlarımızı tüm evrene genişletip genişletemeyeceğimizi öğrenmemiz şarttır.

Bir kelebeğin kanat çırpışının aylar sonra okyanuslar ötesindeki hava koşullarını etkileyebildiği bir dünyada yaşıyoruz. Genel itibarıyla başlangıç koşullarındaki küçük değişiklikler katlanarak artıp sonuçlarda büyük değişikliklere neden olur. İşte bu nedenle kutuda fizik yapmak için kaba tahminler yapmak zorunludur. Bu kaba tahminler, hem konfigürasyon uzayında modelleyeceğimiz gözlenebilir niceliklere ilişkin yaptığımız seçimleri hem de dünyadaki başka her şeyin söz konusu nicelikler üzerindeki etkilerini göz ardı etmemizi içerir.

Diğer yandan kolaylıkla bu ayrıntıları doldurmayı düşünebilirsiniz. Alt sistemi oluşturan en küçük parçacıklar için geçerli fizik yasalarını biliyorsanız, alt sistemi betimlemek için gereken tüm değişkenleri ve bu değişkenlerin etkileşiminde rol oynayan tüm kuvvetleri tam olarak betimlediğinizi en azından hayal edebilirsiniz. Doğa yasalarına ve temel parçacıklara ilişkin hâlihazırda sahip olduğumuz en kesin betimleme, rahatlıkla Newton paradigması içerisine yerleştirebileceğimiz Standart Parçacık Fiziği Modeli'dir. Bu model, kütleçekimi dışında doğa hakkında bildiğimiz her şeyi içermektedir ve çeşitli deneysel testlerden tekrar tekrar başarıyla geçmiştir.

Peki, neden evrenin geri kalanını da kutuya koymayalım? Bizim sistemimizi de içeren daha geniş bir alt sistemi (yalnızca Danny'nin tenis topunu değil, o öğleden sonra parkta olan herkes ve her şeyi) dikkate aldığımızı düşünün. Ölçeği yeniden büyütüp Toronto şehrindeki herkesi ve her şeyi dâhil edin; ölçeği bir kez daha büyütün ve bu sefer Dünya'nın üzerinde, içinde ve

bir buçuk milyon kilometre yakınındaki her şeyi dâhil edin. Alt sistemi her genişlettiğinizde yine aynı fizik yasalarını kullanabilirsiniz; dolayısıyla Newton paradigmasından faydalanabilirsiniz. Her seferinde yapılan kaba tahminler daha da iyileşir ve dolayısıyla determinizmi destekleyen savlar daha da güçlenir.

Ama daima dışarıda kalan bir şeyler vardır. Güneş sisteminin hemen dışında bir yıl sonra Güneş'i yutabilecek büyük, kara bir bulut ya da on yıl sonra Dünya'yı sıyırıp geçecek bir kuyrukluyıldız olabilirdi. Bu olaylar, Danny ile Janet'in yaklaşan evliliğini engelleyebilirdi. Sapmanın büyük olması ya da doğrudan Dünya'yı etkilemesi gerekmez. Danny, Jüpiter'in yakınından geçen bir kuyrukluyıldız hakkındaki haber dikkatini çektiği için parka bir dakika sonra gidebilir ve Janet ile hiç karşılaşmayabilirdi. Bu durumda, soylarından gelecek milyonlarca kişi hiç doğmamış olacaktı. Dünyamızda, küçük olayların büyük sonuçlara neden olması olağan bir şeydir.

Determinist bir fizik kuramı, bir bilgisayara benzetilebilir. Konfigürasyon uzayı, verileri girdiğiniz bellektir. Doğa yasaları ise bir yazılıma benzer. Yazılımı çalıştırdığınızda girdi veriler işlenir ve sonuçlar çıktı olarak verilir. Girdiyi ve yazılımı biliyorsanız, çıktı tam olarak bellidir. Yazılımı aynı girdiyle her çalıştırdığınızda aynı çıktıyı elde edersiniz. Ama bir de şöyle düşünün: Girdi ve yazılım, çıktıyı oldukça farklı iki yoldan belirler.

Bilgisayarı fiziksel bir aygıt olarak düşünürsek, fizik kurallarına göre çalıştığını görürüz. Bu açıdan yaklaştığımızda girdi, çıktıyı neden-sonuç ilişkisi içinde belirler. Çıktı, başlangıç koşullarını etkileyen fizik yasalarının bir sonucudur. Bu süreç zaman gerektirir, çünkü fizik yasalarının öngördüğü gibi, sebep-sonuç süreci zaman içerisinde meydana gelir.

Ama çıktı, bir başka yoldan da belirlenir. Çıktı, aynı zamanda girdi ve yazılımın *mantıksal* bir sonucudur. Girdi ve çıktı, matematiksel nesnelerin gösterimleridir. Yazılım da matematiksel bir nesnedir. Mantıksal olarak, çıktının girdi ile yazılımın birleşiminden kaynaklanan matematiksel bir sonuç olduğunu ispat edebilirsiniz. Bu mantıksal determinizm için zamana ihtiyaç

yoktur, çünkü fiziksel bir süreç söz konusu değildir. Çıktının girdi ile yazılıma bakarak anlaşılabileceğinin ispatı matematiksel bir gerçek olup, matematiksel nesnelerden oluşan zaman dışı doğrular âleminde bulunur.

Zaman, Newton paradigmasındaki fizik betimlemesinden işte bu anlamda sürülmüştür. Çıktının ne olduğunu bilmek için bilgisayarı gerçekten çalıştırmak gereksizdir, çünkü çıktıya bir dizi mantıksal önerme kullanarak sonuç çıkarma yoluyla ulaşılabilir. Sonuç çıkarmanın nasıl yapıldığı önemsizdir; bilgisayar, yalnızca mantıksal bir sonuç çıkarma işlemini, sebep-sonuç süreci aracılığıyla fizik yasalarından yararlanarak modelleyen bir araçtır. Ama bilgisayarı aynı sonuca ulaşacak şekilde inşa edip programlamanın sayısız yolu vardır.

Önemli olan nokta şudur: çıktıda, girdinin mantıksal olarak gerektirmediği hiçbir bilgi bulunmaz. Çıktı, girdinin bir mantık kuralı uyarınca yeniden düzenlenmesinden ibarettir. İşte bu anlamda asla yeni veya şaşırtıcı bir şey üretmek mümkün değildir. Salt mantıksal ve dolayısıyla zaman dışı bir sonucun etkisini yeniden üretmek için zamanın içerisinde meydana gelen ve sebep-sonuç zincirine dayanan bir gelişimin olmasını beklemek de gereksizdir.

Aynı şey Newton paradigması çerçevesinde betimlenen her sistem için geçerlidir. Bu gibi tüm durumlarda son konfigürasyon sadece başlangıç koşulları üzerinde işleyen fizik yasalarının bir sonucudur. Başlangıç konfigürasyonunun ve son konfigürasyonun yer aldığı konfigürasyon uzayı matematiksel bir nesnedir; sözü geçen konfigürasyonlar da öyle. Doğa yasaları matematiksel denklemler olarak ifade edildiğinde, başlangıç koşullarının belirli bir süre sonra son konfigürasyona evrilmesi matematiksel bir gerçektir. Son konfigürasyon matematiksel olarak bulunabilir; hatta matematiksel bir teorem olarak ispat edilebilir. Newton paradigmasının yaptığı, zaman içinde gerçekleşen sebep-sonuç süreçlerinin yerine, zaman dışı mantıksal sonuç çıkarma yöntemini koymaktır. Bu, Newton paradigmasında kullanılan başka bir zamanı ortadan kaldırma biçimidir.

✧✦✧

Sürprizin ve yeniliğin hiçbir rolü olmadığını fark etmenin bir yolu, bir fizik yasasının genellikle tersine de işleyebildiğini dikkate almaktır. Fizik yasalarını, bir bilgisayar veya başlangıç koşullarını son konfigürasyona dönüştüren bir makine olarak düşünürseniz, yasada, basılınca zamanın yönünü tersine çeviren bir düğme olduğunu hayal edebilirsiniz. Yapmanız gereken düğmeye basıp girdi alanına son konfigürasyonu girmektir. Yasayı önceden olduğu gibi aynı süre boyunca işletirsiniz ama bu sefer yasa tersine çalışarak son konfigürasyonu tekrar başlangıç konfigürasyonuna dönüştürecektir. Ters yönde işleyerek her son konfigürasyonu kendi başlangıç koşullarına dönüştürebilen bir yasanın zamanda tersinir olduğunu söyleriz.

Basit bir örneğe göz atalım: Dünya'nın, kendi ekseni etrafında ve Güneş'in çevresinde dönerken yaptığı hareket. Zamanın yönünü tersine çevirmek, Dünya'nın yörüngesinde ve kendi çevresindeki dönüş yönünü de tersine çevirir ve Newton yasaları böyle bir yörüngeye de izin vermektedir. Dünya'nın hareketini filme çekip uzaylılara gösterseniz, (eğer yasalardan haberleri varsa) size bu hareketin Newton yasaları tarafından yönetildiğini söyleyeceklerdir. Ama onlara filmin ters yönde oynatılan bir kopyasını verseniz de aynı şey geçerlidir; bunun da Newton yasalarınca izin verilen bir yörünge olduğu sonucuna varacaklardır. Hatta ellerine her iki filmi de verip hangisinin orijinal hangisinin ters yönde oynatılan kayıt olduğunu sorarsanız kesin bir yanıt veremeyeceklerdir. Sekiz gezegeni ve diğer sayısız cismi içeren tüm Güneş sisteminin filme alınmış hareketleri için de aynısı geçerlidir.

Tabii ki çoğumuz tersine oynatılan filmler görmüşüzdür. Bunların büyük kısmı tuhaf veya komik görünür. Genellikle bunun sebebi ters hareketin fizik yasalarına göre imkânsız olması değildir; aslında böyle bir hareket mümkündür ancak gerçekleşme olasılığı son derece düşüktür. Bu durum, atom benzeri çok sayıda şey içeren karmaşık sistemler için genellikle geçerlidir. Bu noktada, zamanda tersinir olmayan ve 16 ile 17. Bölümlerde in-

celeyeceğim termodinamik yasalarına değinmemiz gerekli.[1] Şimdilik iki basit örnekle yetinelim.

Çoğu fizik yasası zamanda tersinir özelliktedir. Bunlardan biri, Newton mekaniği, diğeri genel görelilik, bir başkası ise kuantum mekaniğidir. Standart Parçacık Fiziği Modeli neredeyse zamanda tersinirdir. Yani tam olarak zamanda tersinir değildir. (Zayıf nükleer etkileşimin zamanda tersinir olmayan önemsiz sayılabilecek bir yönü bulunmaktadır.) Standart Model'e göre gelişmiş bir tarihi alıp zamanın yönünü tersine çevirir ve aynı anda başka iki değişiklik daha yaparsanız, model tarafından izin verilen bir başka tarih elde edersiniz. Söz konusu iki değişiklik, parçacıkların yerine karşı parçacıkların konulması ve sağ ile solun yer değiştirmesidir. CPT (yük, parite ve zaman tersinmesi anlamına gelen ve İngilizcedeki "charge", "parity" ve "time" sözcüklerinin baş harfleriyle türetilen bir kısaltma) adı verilen bu işlemi, filmi diğer yönde oynatmanın bir başka yolu olarak kabul edebilirsiniz. Kuantum mekaniği ve özel görelilik ile tutarlı tüm kuramlar, zamanın yönünün bu şekilde tersine çevrilmesine izin verir.

Bu tersinmeler, zamanın gerçek olmadığını destekleyen bir başka sav oluşturur. Eğer doğa yasalarının yönü tersine çevrilebiliyorsa prensipte geçmiş ile gelecek arasında bir fark olamaz. Geçmiş ve gelecekle kurduğumuz ilişkilerin birbirlerinden çok farklı olması Dünya'nın temel özelliklerinden biri olamaz. Gelecek ile geçmiş arasındaki görünür farklar ya birer yanılsama olmalı ya da özel başlangıç koşullarından kaynaklanmalıdır.

Entropinin doğasına yönelik görüşleri ile atom dünyası ve deneyimlediğimiz makro dünyayı birbirine bağlama konusunda herkesten fazla katkısı bulunan Ludwig Boltzmann bir keresinde, "Uzayda yukarı ve aşağı diye bir şey olmadığı gibi, evren için de zamanın iki yönü arasında da bir fark yoktur" demişti.[2] Eğer geçmiş ile gelecek arasında gerçek bir fark yoksa (eğer ikisinin de içerikleri aynı ise ve sadece mantıksal olarak yeniden düzenlenmişlerse) o zaman, şimdiki anın ya da zamanın akışının gerçek olduğuna inanmak gereksizdir. Fizik yasalarının zamanda

tersinir olması, genellikle fizikçilerin doğa anlayışından zamanı çıkarma yolunda atılan bir başka adım olarak kabul edilir.

Zamanı, fizikten tamamen kovmak için yalnızca birkaç adım daha atmamız gerek. Bir sonraki adım, bize zamanın gerçek olmadığını söyleyen en güçlü savı sunacak olan Einstein göreliliğinden gelecektir.

Görelilik ve Zaman Dışılık

Ben dokuz yaşında bir çocukken babam Manhattan'ın Yukarı Batı Yakası'ndaki evimize Lincoln Barnett'ın *Evren ve Dr. Einstein* kitabını getirmişti. Kitaptaki görelilik kuramına dair açıklamaları birlikte çözmeye çalışmıştık. Hızla giden tren ve bükülen yıldız ışığı çizimlerini hâlâ hatırlarım. Fizikle ilk tanışmam böyle olmuştu.

Sonra on altı yaşlarında, Einstein'ın genel görelilik üzerine yazdığı ilk makalesini rock grubu üyesi kuzenimi görmek için şehre giderken metroda okudum. Şimdi olduğu gibi o zaman da Einstein'ın çığır açan makalelerinin karton kapaklı ucuz baskıları vardı.[1] Daha tek bir ders kitabının kapağını bile açmadan okuma şansı bulduğum Einstein'ın çalışmaları fiziğe yönelmemi sağladı ama o zamanlarda doğanın özünü net fikirlerle ifade etmeye yönelik en iyi örnekle karşılaştığımın farkında değildim. Benim deneyimim, beş yıldızlı bir Fransız restoranında sütten kesilmek gibiydi: ondan sonra ancak biri sizi yakanızdan tutup zorlarsa Cheerio ile fıstık ezmeli ve reçelli sandviç yiyebilirsiniz.

Daha sonraları fizikte, Einstein'ın kuramlarındaki kavramsal netliğe ve zarafete yaklaşabilen çok az şey olduğunu gördüm. O kuramlarla ne kuantum mekaniği, ne modern kuantum alan kuramı, ne de ders kitaplarında sıklıkla kütle ve kuvvet gibi temel kavramlara ilişkin muğlak ve dolambaçlı tanımlarla dolu bir

mantık karmaşası halinde sunulan Newton mekaniği boy ölçüşebilir. Ama fiziğe girişim Einstein ile olduğundan, çalışmaları benim için bilimsel bir standart, görelilik kuramları mihenk taşım, bu kuramlardaki ilkeler de bilimin şüphecilik yaklaşımıyla eğitilen birinin kabul edebileceği en kutsal metinler halini aldı.

Aslına bakılırsa Einstein'ın görelilik kuramları, zamanın çok daha gerçek zaman dışı bir evreni gizleyen bir yanılsama olduğuna yönelik elimizdeki en güçlü savlardır. Zamanın bir yanılsama olduğuna inandığım dönemde bu inancımın ana nedenleri görelilik kuramına dayanıyordu.

Einstein, iki görelilik kuramı ortaya atmıştır. Bunlardan ilki olan özel görelilik, içinde kütleçekiminin bulunmadığı bir gezegene ilişkin bir kuramdır. Einstein'ın "mucize yılı" 1905'te yayımladığı iki makalede sunulmuştur.[2] Sonraki on yıl boyunca geliştirilen genel görelilik, kütleçekimini de içerir.

Einstein'ın iki görelilik kuramı, en basit anlamda zaman, daha doğrusu zaman dışılık hakkındadır. Zor olduklarına dair hak etmedikleri bir ünleri vardır; ben onları son derece güzel bir sadeliğe sahip, kolay açıklanan kuramlar olarak görüyorum. Başlangıçta göreliliğin sezgilere aykırı göründüğü doğrudur, çünkü görelilik yanlış bir sezginin yerine gerçeğe daha yakın olduğu deneyler gösterilen daha derin bir anlayışı ortaya koyar. Göreliliği öğrenmek, doğayı zihinde düzenleme yollarından birinden diğerine geçiş yapmak demektir. Zamana dair farkında olmadığınız bazı varsayımları bırakmanız gerekir ama bunu bir kez yaptığınızda temel fikirler birbirini bir mantık sırası içerisinde izler.

Bu bölümde, görelilik kuramının yalnızca zamanın doğasını etkileyen fikirlerinden ve sonuçlarından bahsedeceğim. Açık ve net olduğunu düşündüğüm iddialarda bulunacağım ama popüler fizik kitaplarında genelde yapıldığı gibi, Einstein'ın basit varsayımlarını bu varsayımların sezgiye aykırı sonuçlarına bağlayan savlara yer vermeyeceğim.[3]

Özel görelilik kuramında yer alan iki kavram üzerinde duracağız. İlki *eşzamanlılığın göreliliği*. Buna bağlı olan ikincisi ise *blok evren*. İkisi de zamanın fizikten sürülmesinde önemli birer adımdı.

Einstein, özel göreliliği ustaca oluştururken zamanın doğasına ilişkin soruyu yanıtlamak için iki stratejiden faydalandı. İlk olarak, zamanın ilişkisel mi yoksa mutlak mı olduğu konusundaki tartışmada ilişkisel tarafı benimsedi: Zaman değişimle ilgilidir. Bu da onun algılanan ilişkilerle ilgili olduğu anlamına gelir. Mutlak ya da evrensel zaman diye bir şey yoktur.

İlk çalışmalarında Einstein, *işlemselcilik* adıyla bilinen bir stratejiden de yararlanmıştır. Bu yaklaşım uyarınca, zaman gibi bir niceliği tanımlamanın tek anlamlı yolu, bu niceliğin nasıl ölçüleceğini belirlemektir. Zamandan bahsetmek istiyorsanız, kuramınızda bir saatin ne olduğunu ve nasıl çalıştığını betimlemeniz gereklidir. Bilime işlemsel açıdan yaklaşıyorsanız, neyin gerçek olduğunu değil, bir gözlemcinin neyi gözlemleyebileceğini sorarsınız. Gözlemcinin evrendeki durumu, nerede olduğu ve nasıl hareket ettiğini de kapsayacak şekilde dikkate alınmalıdır. Bu, farklı gözlemcilerin gördükleri şeyler konusunda aynı fikirde olup olmayacaklarını sormanıza imkân verir. Einstein'ın en ilgi çekici keşiflerinden bazıları, gözlemcilerin hangi konularda anlaşamadıklarına ilişkindir.

Peki, ya gerçeklik? Fizikçiler neyin gözlemlendiğiyle değil, gerçeğin ne olduğu ile ilgilenmezler mi? Evet ama işlemselcilikten yana olanların çoğu, gerçekliğe inanmasına rağmen, bu gerçekliğe ulaşmanın tek yolunun neyin gözlemlendiğine bakmak olduğuna da inanır. Tüm gözlemcilerin üzerinde anlaşmaya vardığı bir şey gerçektir, yani nesnel olarak doğrudur.

Einstein'ın özel görelilik kuramının zamana dair en büyük keşfi, eşzamanlılığın göreliliği olarak bilinir. Birbirinden uzaktaki iki olayın aynı anda gerçekleştiğini kabul edip edemeyeceğimizi konu alır. Einstein, birbirinden uzaktaki olayların eşzamanlı olarak tanımlanmasında daima bir muğlaklık olduğunu bulmuştu. Birbirlerine göre hareket eden gözlemciler, birbirinden uzaktaki iki olayın eşzamanlı olup olmadığı konusunda farklı sonuçlara varacaktır.

Bir hanımefendinin, Toronto'da uykusundan uyanırken Singapur'daki sevgilisinin o anda ne yaptığını merak etmesi

son derece doğaldır. Eğer bu akla uygunsa o anda Pluto'da, Andromeda Gökadası'ndaki bir gezegende, hatta evrenin herhangi bir yerinde o anda neler olduğunu sormak da akla uygun olmalıdır. Einstein'ın bize gösterdiği ise bizden uzaktaki bir yerde şu anda neler olduğundan bahsetmeye yönelik doğal sezgilerimizin hatalı olduğudur. Birbirlerine göre hareket eden iki gözlemci, uzaktaki iki olayın eşzamanlı olup olmadığı konusunda anlaşamayacaktır.

Eşzamanlılığın göreliliği, bazı varsayımlara dayanır; bunlardan biri, ışık hızının evrensel olduğudur. Yani bir fotonun hızını ölçen herhangi iki gözlemcinin ölçümleri, birbirlerine veya fotona göre nasıl hareket ediyor olursa olsunlar, aynı sonucu verecektir. Ayrıca hiçbir şeyin bu evrensel hızdan daha hızlı hareket edemeyeceğini de varsayabiliriz.[4] Bu iki varsayım uyarınca, bir olay diğer bir olayı ancak ışık hızında veya daha yavaş giden bir sinyal ilkinden çıkıp ikincisine ulaşırsa etkileyebilir. Eğer bu mümkünse iki olay arasında *sebep-sonuç bağı* olduğunu söyleriz, yani ilk olay ikincisinin nedeni olabilir.

Ama iki olayın uzayda birbirinden son derece uzakta ve zaman olarak da birbirine son derece yakın anlarda gerçekleşmesi halinde, birinden diğerine herhangi bir sinyalin ulaşması mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda olaylardan biri, diğerinin nedeni olamaz. Bu tür iki olay arasında sebep-sonuç bağı olmadığını söyleriz. Einstein, böyle durumlarda olayların eşzamanlı olup olmadığını veya birinin diğerinden önce ya da sonra mı gerçekleştiğini bilemeyeceğimizi göstermiştir. Zamanı ölçmekte kullanılan saatleri yanlarında taşıyan gözlemcilerin hareketine bağlı olarak, her iki yanıt da mümkündür.

Fiziğin bir anlam ifade edebilmesi için gözlemcilerin sebep-sonuç bağıyla bağlı olayların sırası hakkında anlaşabilmeleri şarttır. Bu ayrıca nedenleri saptarken doğabilecek karışıklıklardan kaçınmak için de şarttır. Ama gözlemcilerin, birbirlerini etkilemesi imkânsız olayların sırası hakkında anlaşmaları için herhangi bir neden yoktur. Einstein'ın özel görelilik kuramında da zaten anlaşamazlar.

Yani Toronto'daki dostumuzun Singapur'daki sevgilisinin *tam şu anda* ne yaptığını merak etmesi akla uygun değildir.[5] Ama birkaç saniye önce ne yapmakta olduğunu merak etmesi tamamen akla uygundur. Bu birkaç saniyede sevgilisi dostumuzun şimdi okuduğu kısa mesajı göndermiş olabilir; kısa mesajın gönderilmesi ile bu mesajın okunması, sebep-sonuç bağı ile bağlı olaylardır. Ayrıca tüm gözlemciler kadının şimdi gönderdiği mesajın, bir dakika sonra yazılanları okuduğu andan itibaren adamın hayatını değiştireceği konusunda da hemfikir olabilirler.

Özel görelilik, tüm gözlemcilerin üzerinde anlaştığı evrensel bir hız sınırının varlığının yanı sıra başka bir hipoteze daha dayanmaktadır. Bu hipotez, *görelilik ilkesinin* kendisidir. Görelilik ilkesine göre, ışık hızı haricindeki her tür hız tamamen göreli bir niceliktir; hangi gözlemcinin hareket ettiğini, hangisinin hareketsiz olduğunu bilmek imkânsızdır. Her biri sabit bir hızda hareket eden iki gözlemcinin birbirlerine yaklaştığını varsayalım. Görelilik ilkesine göre, her ikisi de makul bir şekilde kendisinin hareketsiz olduğunu ve yalnızca diğerinin hareketi nedeniyle birbirlerine yaklaştıklarını iddia edebilir.

Demek oluyor ki birbirinden uzaktaki iki olayın eşzamanlı gerçekleşip gerçekleşmediği sorusu gibi, gözlemcilerin üzerinde anlaşamadığı soruların doğru bir yanıtı yoktur. Dolayısıyla eşzamanlılığın nesnel olarak gerçek bir yanı olmadığı gibi, "şu anın" da gerçek bir yanı olamaz. Eşzamanlılığın göreliliği, zamanın gerçek olduğu görüşüne ağır bir darbe vurmuştur.

Gözlemcilerin üzerinde anlaştığı hususlara *sebep-sonuç yapısı* adı verilebilir. Evrenin tarihinden herhangi iki olay seçin ve bunlara X ile Y deyin. Bu durumda üç olasılıktan biri geçerli olacaktır. X, Y'nin sebebi olabilir; Y, X'in sebebi olabilir ya da ikisi de diğerinin sebebi olmayabilir. Bu sebep-sonuç ilişkileri konusunda tüm gözlemciler aynı fikirdedir. Sebep-sonuç yapısı, bu ilişkilerin evrendeki tüm olayları kapsayan bir listesidir. Yani evren tarihinde fiziksel olarak gerçek olan şeylerin evrenin sebep-sonuç yapısını oluşturduğu söylenebilir.

Bu, zaman dışı bir resimdir, çünkü evren tarihinin tamamına birden atıfta bulunur. Zamanda tercih edilen bir an yoktur; şu anda saatin kaç olduğuna, bizim şu anki deneyimimize karşılık gelen herhangi bir şeye atıfta bulunmaz. "Gelecek" veya "geçmiş" ya da "şu an" sözcükleri anlamsızdır.

Özel göreliliğin sunduğu doğa betimlemesinden belli gözlemcilerin gözlemlerine karşılık gelen her şeyi çıkartırsanız, geriye sebep-sonuç yapısı kalır. Sebep-sonuç yapısı, gözlemcilerden bağımsız tek şey olduğundan –eğer kuram doğruysa– fiziksel gerçekliğe karşılık gelmelidir. Bu nedenle, özel göreliliğin dayandığı ilkeler doğru olduğu ölçüde, evren zaman dışıdır. İki anlamda zaman dışıdır: Şu anki deneyime karşılık gelen hiçbir şey yoktur ve evrenin en temel betimlemesi, sebep-sonuç ilişkilerine ilişkin tarihin tümünü birden kapsamaktadır.

Sebep-sonuç ilişkilerine dayanarak çizilen bu evren tarihi resmi, Leibniz'in zamanın yalnızca olaylar arasındaki ilişkilerle tanımlandığı bir evren hayalini hayata geçirir. Zamana karşılık gelen tek gerçeklik, ilişkiler yani sebep-sonuç ilişkileridir.

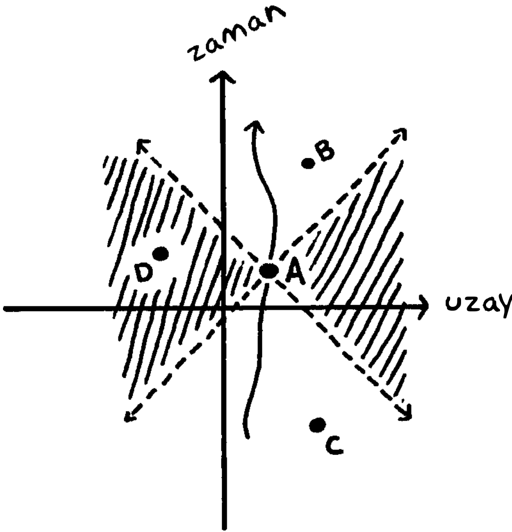
Aslına bakılırsa, sebep-sonuç yapısı dışında gözlemcilerin üzerinde anlaştığı bir başka bilgi daha vardır. Uzayda serbestçe yüzen bir saatin saniyeleri saydığını hayal edin. Bu saat, on ikiyi göstersin, bir dakika sonra da on ikiyi bir geçeyi göstersin. Birinci olay, ikincisinin sebebi sayılabilir. İki olay arasında saat altmış defa tıklamıştır. İki olay arasındaki tıklama sayısı, göreli hareketleri ne olursa olsun tüm gözlemcilerin üzerinde anlaşabileceği bir başka konudur. Buna *asıl zaman* denir.[6]

Evren tarihinin bir bütün olarak, sebep-sonuç ilişkileriyle birbirine bağlı bir olaylar sistemi şeklinde görüldüğü resme *blok evren* adı verilir. Kulağa belki garip gelecek bu ismin nedeni, tüm tarihin hep birden gerçek olduğunu önermesidir. Bu isimle katı ve değişmez bir heykel yapmak için kullanılabilecek bir taş bloğuna gönderme yapılmaktadır.

Blok evren, Galileo ve Descartes'ın başlattığı zamana uzayın başka bir boyutuymuş gibi muamele etme akımının son noktasıdır. Evrenin tüm tarihini, matematiksel bir nesne olarak betim-

ler. Matematiksel nesneler de birinci bölümde belirttiğimiz gibi, zaman dışıdır. Eğer blok evrenin doğadaki nesnel gerçekliğe karşılık geldiğine inanıyorsanız, evrenin temelde zaman dışı olduğunu iddia ediyorsunuz demektir. Bu blok-evren resmi, Einstein'ın özel görelilik kuramının gerektirdiği, zamanın sürülmesindeki ikinci adımdır.

Blok evren, uzay ile zamanı birleştirir ve uzay için üç, zaman için de bir boyut olmak üzere dört boyuta sahip bir tür uzay-zaman olarak düşünülebilir (bkz. Şekil 10). Zamanda bir an içinde gerçekleşen bir olay, uzay-zamanda bir nokta olarak gösterilir ve bir parçacığın tarihi de uzay-zamanda dünya çizgisi adı verilen bir



• B, A'nın geleceğindedir.
• C, A'nın geçmişindedir.
• D ile A arasında nedensel bir ilişki yoktur.

Şekil 10: Uzay-zamanın blok-evren resmi. Bir uzay ve bir zaman boyutuna sahip bir uzay-zaman. Zaman ve uzay birimlerini, ışık ışınlarının 45 derecelik açılarla yol almasını sağlayacak şekilde seçeriz. Bu durumda, sebep-sonuç yapısı geometrik olarak gösterilir; iki olay 45 derecelik veya daha dik bir açıya sahip bir çizgi ile bağlanabiliyorsa aralarında bir sebep-sonuç bağı olabilir. Ayrıca geçmişten geleceğe doğru ilerlerken A olayından geçen bir parçacığın dünya çizgisini de görüyoruz. Çizimde, A'dan geçen iki ışık ışını da bulunmaktadır. Taralı bölgeler, A ile sebep-sonuç bağı olmayan olayları içerir.

eğri izler. Dolayısıyla zaman, geometri içerisinde tamamen eritilmiştir; zaman uzaya ya da geometriye dönüştürülmüştür deriz. Fizik yasaları geometrik biçimde gösterilir; örneğin, serbest parçacıkların dünya çizgileri uzay-zamanda birer doğrudur. Eğer parçacık bir fotonsa, 45 derecelik bir açıyla hareket ediyor gibi gösteririz (bu, tıpkı ışık yılından söz ederken yaptığımız gibi uzayı, zaman birimleri cinsinden ölçmeye karşılık gelir.) Normal bir parçacık ışığın taşıyıcısı fotondan daha yavaş hareket etmek zorundadır, dolayısıyla dünya çizgisi de daha dik bir açıya sahip olacaktır.

Özel göreliliğin bu zarif geometrik gösterimi, Einstein'ın matematik öğretmenlerinden biri olan Hermann Minkowski tarafından 1909'da ortaya atılmıştır. Bu gösterimde, özel göreliliğin gerektirdiği fiziksel harekete ilişkin her olgu uzay-zamanın geometrisine ilişkin bir teorem olarak ifade edilir. Minkowski tarafından günümüzde Minkowski uzay-zamanı adını verdiğimiz modelin bulunması, zamanın ortadan kaldırılmasına yönelik belirleyici bir adımdı, çünkü söz konusu model zaman içindeki hareketler hakkında söyleyebileceğimiz her şeyi, zaman dışı bir geometri hakkında matematiksel teoremlere dönüştürebileceğimizi ikna edici bir şekilde göstermişti.

20. yüzyılın büyük matematikçilerinden Hermann Weyl'in de dediği gibi: "Nesnel doğa meydana gelmez, zaten vardır. Yalnızca vücudumun dünya çizgisi boyunca emekleyen bilincimin gözünde doğanın bir parçası zamanla sürekli değişen uzay içerisinde geçici bir resim olarak hayat bulur."[7]

Blok-evren resminin gücünü göstermek için bazı filozofların bu fikri desteklemek amacıyla sundukları küçük bir savdan bahsedeyim. Bu sav, yalnızca eşzamanlılığın göreliliğine dayanır. Şu anın gerçek olduğunu kabul ederek başlayalım. Geleceğin veya geçmişin gerçek olup olmadığından çok da emin olmayabiliriz. Zaten savın amacı da bu kavramların ne kadar gerçek olduğunu bulmak. Diyelim ki şu anın gerçek olduğundan kuşkumuz yok. Şu an, her biri diğeri kadar gerçek olan birçok olaydan oluşur. Gelecekteki iki olayın gerçek olup olmadığını bilmiyoruz ama eğer iki olay aynı zamanda meydana geliyorsa söz konusu za-

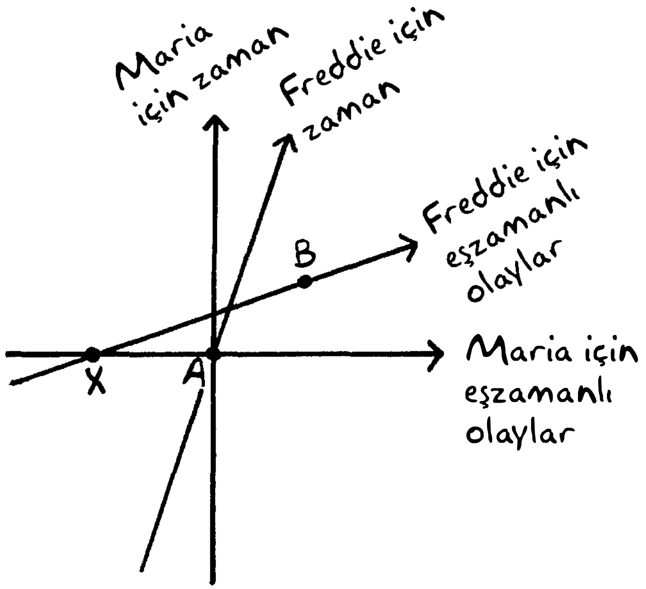
man ister şu an, ister geçmiş, isterse de gelecek zaman olsun bu iki olayın eşit derecede gerçek olduklarını kabul edeceğiz.

Eğer işlemselcilikten yanaysak, gözlemcilerin ne gördüğünden bahsetmemiz gerekir. O yüzden, *bir gözlemci tarafından eşzamanlı olarak gözlemlenen iki olayın eşit derecede gerçek olduğunu* öne sürüyoruz. Ayrıca eşit derecede gerçek olmanın, geçişme özelliği olarak adlandırılan bir özelliğe sahip olduğunu kabul edeceğiz; yani eğer A ile B eşit derecede gerçekse ve B ile C eşit derecede gerçekse, o zaman A ile C de eşit derecede gerçek olmalı. Sav, bu noktada özel görelilikte şu anın gözlemciye bağlı olmasından faydalanır. Evren tarihinde biri diğerinin nedeni olan herhangi iki olayı ele alalım. Bunlara A ve B diyelim. Bu durumda, daima şu özelliğe sahip bir başka X olayı mevcut olacaktır: A olayını X ile eşzamanlı olarak gören bir gözlemci –Maria– vardır. Bir de X olayını B ile eşzamanlı olarak gören başka bir gözlemci –Freddie– bulunmaktadır. Bu senaryo Şekil 11'de gösterilmiştir.

X olayının varlığının neden şart olduğunu anlamak için eşzamanlılığın göreli olmakla kalmayıp mümkün olduğu ölçüde göreli olduğunu bilmeniz gerekir. Bu, şu anlama gelir: Einstein'ın varsayımlarının bir sonucu olarak, eğer iki olay bir gözlemci için eşzamanlı meydana geliyorsa diğer bütün gözlemciler bu iki olayın arasında sebep-sonuç ilişkisi olmadığına karar verecektir. Aynı şekilde, eğer iki olay arasında sebep-sonuç ilişkisi yoksa bu iki olayı eşzamanlı olarak gören bir gözlemci bulunacaktır; dolayısıyla eşzamanlılık, sebep-sonuç ilişkilerini bozmadan ne kadar göreli olabiliyorsa o kadar görelidir.

Eğer B, A'nın uzak geleceğinde ise X her ikisinden de bir ışık sinyalinin A'dan X'e veya X'ten B'ye ulaşamayacağı kadar uzak olmalıdır. Ama Minkowski'nin betimlediği evren sonsuzdur, o nedenle bu durum bir sorun teşkil etmez.[8]

Şimdi şu şekilde akıl yürütebiliriz: Verdiğim kritere göre A, X kadar gerçektir. Diğer yandan B de X kadar gerçektir. Yani A ve B eşit derecede gerçektir. Ama A ile B, evren tarihinde aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan herhangi iki olaydır. Demek ki eğer



Şekil 11: Eşzamanlılıktan yola çıkan blok evren savı. Sebep-sonuç ilişkisiyle birbirine bağlı tüm A ve B olayları için daima bir gözlemci tarafından A ile bir başka gözlemci tarafından da B ile eşzamanlı olarak görülen bir X olayı bulunur.

evrendeki bir olay bir anlamda gerçekse bu gerçeklik diğer tüm olaylar tarafından paylaşılmaktadır. Dolayısıyla şu an, geçmiş ve gelecek arasında bir fark yoktur. Evrendeki tüm olaylar, hep birden gerçektir. Böylece, evrenin bir bütün olarak ele alınan tarihinin gerçekliği oluşturduğu sonucuna varırız. Zamandaki anların ya da bu anların akışının herhangi bir gerçekliği yoktur.

Bu blok-evren savının güçlü yanı, ikna olmak için yalnızca şu anın gerçek olduğuna inanmanızın yeterli olmasıdır; daha sonra sav, sizi geleceğin ve geçmişin de şu an kadar gerçek olduğuna inanmaya zorlar. Ama eğer şu an, geçmiş ve gelecek arasında bir fark *yoksa* eğer Dünya'nın oluşumu da torunumun torununun kızının doğumu da bu satırları yazdığım an kadar gerçekse şu an gerçeklik konusunda öncelikli bir hakka sahip değildir ve gerçek olan tek şey evrenin bütün tarihidir.

Önde gelen çağdaş bir filozof olan Hilary Putnam'ın bu sav hakkındaki düşünceleri şöyledir:

> Gelecek olayların gerçekliği ve belirliliği sorununun artık çözülmüş olduğu sonucuna varıyorum. Üstelik çözümü felsefe değil fizik bulmuştur... Aslında zamanla ilgili felsefi bir sorun olduğunu artık düşünmüyorum; geride yalnızca içinde yaşadığımız dört boyutlu uzay-zamanın kesin fiziksel geometrisini belirlemeye yönelik fizik sorunu kalmıştır.[9]

Blok-evren görüşünün bir başka ismi eternalizmdir. Çağdaş filozoflar, bu görüşün ayrıntılarına ilişkin önemli bir literatür oluşturmuştur. Tartıştıkları sorulardan biri, blok evren görüşünün zamandan bahsetme biçimimizle uyumlu olup olmadığıdır. Normal insanlar da filozoflar da "şu an", "gelecek", "geçmiş" gibi sözcükleri kullanır. Gerçeklik, bir bütün olarak evrenin tüm tarihinden oluşuyorsa, bu sözcüklerin bir anlamı olabilir mi? Eğer şu an, başka herhangi bir an kadar gerçekse "şu an Manş Denizi'nin altındaki bir trendeyim" derken ne kastetmiş oluyoruz?

Uyumculuk adı verilen bir görüş, "şimdi" ve "yarın" gibi sözcüklerin zaman dışı gerçekliğe ilişkin bazı olgulara doğrudan erişim sağlayan ama diğer bazı olgulara erişimi zorlaştıran bir bakış açısını gösterdiğini bildiğimiz sürece, günlük dilde kullanılmasında bir sakınca olmadığını ileri sürer. Uzaktaki ve yakındaki nesnelerin eşit derecede gerçek olduğuna inandığımız halde "burada" ve "orada" sözcüklerini rahatlıkla kullanıyoruz. Bu nedenle bazı filozoflar, "şu an" ve "gelecek" sözcüklerinin "burada" ve "orada" sözcüklerinden çok da farklı olmadığını öne sürer; hepsi çevrenizde ne gördüğünüzü etkileyen ama neyin gerçek olduğu üzerinde bir etkisi olmayan belirli bir perspektifi ifade etmektedir. "Şimdi" sözcüğünü kullanmam, şu anın özel olduğunu ima ettiğim anlamına gelmez; yalnızca bakış açımı betimliyorum. Konuştuğum kişi ile paylaştığımızı varsaydığım için bahsettiğim, şu anın hangisi olduğuna daima gizli bir atıf yapılmaktadır.

Buraya kadar iyi hoş ama bütün bunlar yalnızca blok evren eğer doğanın doğru bir betimlemesi ise önem taşır. Diğer filozofların bu konuda şüpheleri vardır. John Randolph Lucas şöyle der: "Blok evren, zamana ilişkin son derece yetersiz bir görüş su-

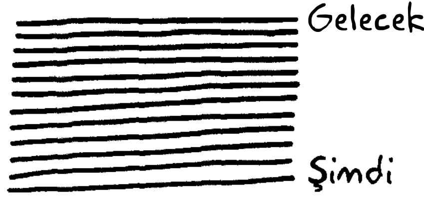
nar. Zamanın geçişini, şu anın taşıdığı önemi, zamanın bir yönü olmasını ve gelecek ile geçmiş arasındaki farkı açıklayamaz."[10]

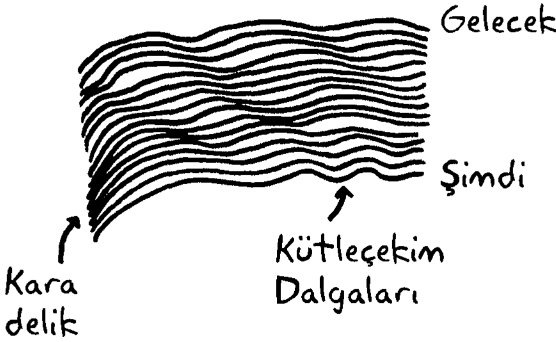
Bu kitaptaki savlar, işte bu tartışmaya yöneliktir. Söz konusu savları filozofların tercih ettiği biçimde, dilbilimsel analizlere ağırlık vererek incelemeyeceğim. Ben daha çok bu savların fizikteki ön kabulleriyle ilgileniyorum–özel göreliliğin evrenin tüm tarihi için geçerli olduğu düşüncesi de bunlardan biridir. Ama özel görelilik tüm evren için geçerli olamaz, çünkü fiziğin tamamını içermemektedir; özellikle, kütleçekiminin özel görelilikte yeri yoktur. En iyi ihtimalle kütleçekimini de içeren bir kuramın kaba bir tahmininden ibaret olabilir. Görelilik kuramının kütleçekimini kapsayacak şekilde genişletilmesi sorunu, daha da derin bir kuram olan genel görelilik kuramı ile çözülmüştür. Bu çözümü bulmak için Einstein'ın on yıl uğraşması gerekmiştir.

Ne var ki özel göreliliğin felsefi bakımdan ilgi çekici özellikleri, Einstein'ın genel görelilik kuramına da uzanmaktadır. Eşzamanlılığın göreliliği, bu kuramda da doğrudur–hatta daha geniş kapsamlıdır. Dolayısıyla az önce özetlediğim felsefi sav halen geçerlidir ve bizi aynı sonuca götürmektedir: tek gerçeklik, evrenin bir bütün olarak tarihidir.

Gözlemcilerden bağımsız tüm bilgiler genel görelilikte de yine sebep-sonuç yapısı ile asıl zamanda yansımasını bulur. Eğer genel görelilikte tüm evrenin tarihi temsil ediliyorsa sonuç hâlâ blok-evren resmidir.

Genel görelilik, özel göreliliğin zamanın gerçek olmadığını ileri süren özelliklerini korumakla kalmaz, aynı etkiye sahip yeni özellikler de getirir. İlk olarak, uzay-zamanı, uzay ve zaman olarak bölmenin çok daha fazla yolu vardır (bkz. Şekil 12). Zamanı evrene dağılmış saatlerden oluşan bir ağa göre tanımlayabilirsiniz ama bu saatler biraz garip olabilir. Yani farklı yerlerde farklı hızlarda çalışabilirler ve her biri hızlanıp yavaşlayabilir. Bu durumu, genel görelilikte zaman çok parmaklı olabilir diyerek betimleriz. İkincisi, uzayın ve uzay-zamanın geometrisi artık basit veya düzenli değildir. Daha genel bir hâl alır: Basit bir düz-





Şekil 12: Alışıldık zaman kavramı ile genel görelilikteki daha keyfi olan zaman kavramının karşılaştırılması. Normalde zamanın her yerde aynı hızla aktığını düşünürüz, bu nedenle eşit zaman yüzeyleri arasında üstteki şekilde olduğu gibi eşit aralıklar bulunur. Genel görelilikte ise eşit zaman yüzeyleri arasında sebep-sonuç ilişkisi olmadığı sürece, zamanı ölçmek için her noktada farklı birer saat kullanılabilir ve bu saatlerin her biri diğerlerinden keyfi bir biçimde daha hızlı çalışabilir. Alttaki resimde gösterilen bu duruma, zamanın "çok parmaklı" olma serbestisi diyoruz.

lem veya küre yerine, *herhangi* bir eğri yüzey olabilir. Geometri de dinamik hâle gelir. Kütleçekimi dalgaları dediğimiz dalgalar uzay-zamanın geometrisinde ilerler. Kara delikler oluşabilir, hareket edebilir, birbirleri etrafında yörüngeye girebilir. Artık bir doğa konfigürasyonu sadece uzaya yerleştirilmiş parçacıkların konumlarıyla belirlenmez; bundan böyle uzay geometrisinin kendisi de konfigürasyona dâhildir.

Peki, uzayın ve uzay-zamanın geometrisi ile kütleçekimi arasında ne gibi bir ilişki olabilir? Genel göreliliğin temeli, tüm bilimsel fikirlerin en basitine dayanır: düşme doğal bir durumdur.

Fizikteki büyük devrimlere, neyin doğal hareket kabul edildiği konusundaki değişikliklerin yol açtığı söylenebilir. Burada "doğal hareket" derken açıklama gerektirmeyen bir hareketi kastediyoruz. Aristoteles için doğal hareket, Dünya'nın merkezine göre hareketsiz kalmaktı. Bunun dışındaki tüm hareketler doğal değildi ve bir açıklama, örneğin cismi harekete geçiren ve bu hareketi devam ettiren bir kuvveti gerektiriyordu. Galileo ve Newton için doğal hareket düz bir doğru boyunca ve sabit bir hızda gerçekleşen hareketti. Kuvvetlere sadece, hareketin hızı veya yönündeki değişimleri (ki buna ivme diyoruz) açıklamak için başvuruyorlardı. İvmesiz hareket ettikleri sürece bir uçak ya da trendeyken hareketi hissedemeyişinizin nedeni işte budur.

Eğer tüm hareket göreliyse uçağın veya trenin neye göre ivmelendiği önemli değil midir, sorusu aklınıza gelmiş olabilir. Evet, önemlidir; ivmelenme, ivmelenmeyen diğer gözlemcilere göre olmalıdır. Peki, bu yanıt bir kısır döngüye yol açmaz mı? Büyük bir gözlemci grubunun hareketleri sonucunda herhangi bir etki hissetmediğini ve bu gruptaki herkesin birbirlerine göre sabit bir hızda ve sabit bir yönde hareket ettiğini düşünürsek açmaz. Bu özel gözlemci grubuna *eylemsiz gözlemciler* denir ve Newton yasaları bu gözlemcilere göre tanımlanmıştır. Bu durumda, Newton'un ilk yasası serbest (yani üzerlerinde etki eden bir kuvvet olmayan) parçacıkların, eylemsiz gözlemcilere göre sabit bir hızda ve yönde hareket ettiğini öne sürer.

Bu arada, Güneş'in mi yoksa Dünya'nın mı hareket ettiği işte bu nedenle önemlidir. Dünya, Güneş etrafında dönerken hareket yönü, herhangi bir eylemsiz gözlemciye göre sürekli değişir. Bu bir ivmelenmedir; açıklanması gerekir ve söz konusu açıklamayı Güneş'in kütleçekimsel etkisi sağlar.

Newton için kütleçekimi de diğer kuvvetler gibi bir kuvvetti. Ama Einstein, kütleçekiminden kaynaklanan hareketin kendine özgü bir özelliği olduğunu fark etti: kütleleri veya diğer özellikleri ne olursa olsun, tüm cisimler aynı ivme ile düşer. Bu durum, Newton yasalarının bir sonucudur. Bir cismin ivmesi aslında kütlesi ile ters orantılıdır ama Newton, kütleçekiminin cisim-

leri kütleleriyle doğru orantılı bir kuvvetle çektiğini söyler. Kütlelerin etkileri birbirini götürür, bu nedenle kütleçekiminin neden olduğu ivmelenme bir cismin kütlesine bağlı değildir ve tüm cisimler aynı ivme ile düşer.

Einstein düşmenin doğallığını, *eşdeğerlik ilkesi* adını verdiği, çalışmalarındaki (hatta tüm fizikteki) en güzel ilke ile açıklamıştır. Bu ilke, düşerken hareketinizi hissedemeyeceğinizi ileri sürer. Düşen bir asansörde bulunan birinin deneyimi ile uzayda serbestçe yüzen birinin deneyimi aynıdır. Kütleçekimi konusunda deneyimlediğimiz, aslında *düşmediğimizdir.* Otururken ya da ayakta dururken hissettiğimiz kuvvet, kütleçekiminin bizi aşağı çekmesinden değil, yerin veya koltuğun bizi yukarı iterek düşmemizi engellemesinden kaynaklanır. Şu anda masamda otururken aslında doğal olmayan bir hareket halindeyim.

Einstein, işte bu nedenle birinci sınıf bir dehaydı. O, genel göreliliğin matematiksel açıdan karmaşıklık denklemlerini bulduğu için değil (bu ayrıntıları çoğu fizik ve matematik öğrencisi zorluk çekmeden öğrenir) ama en basit deneyimlerimizden birine bakış açımızı değiştirmeyi başardığı için bir dehadır.

Einstein'dan önce her gün, gün boyu hissettiğimiz şeyin kütleçekiminin bizi aşağı çekmesi olduğunu zannediyorduk. Einstein, yanıldığımızı fark etti. Aslında hissettiğimiz zeminin bizi itmesidir.

Einstein bu en basit ve en fiziksel fikri alıp matematikçi bir dostu olan Marcel Grossmann'ın da yardımıyla Dünya'nın geometrisine, ilişkin bir hipoteze dönüştürdü. Söz konusu hipotez, geometrideki en basit kavramlardan biri olan doğrunun üzerinde oynanan bir oyuna dayanır.

Doğru, lise geometrisinde iki nokta arasındaki en kısa yol olarak tanımlanır. Bu tanım, bir düzlem için geçerlidir ama eğimli yüzeylere de uygulanabilecek şekilde genişletilebilir. Dünya'nın yüzeyine benzer bir küre hayal edin. Yüzey bükülmüş olduğundan artık bir doğru bulunmadığını düşünebilirsiniz ama doğrudan kastımız iki nokta arasındaki en kısa yol ise durum böyle değildir. Bu tanımı karşılayan eğrilere *kesel* diyoruz. Söz konusu uzay bir düzlemse keseller doğrudur; uzay bir küreyse keseller

büyük çemberlerin parçalarıdır ve uçakların iki şehir arasında en kısa yolculuğu yapmak için izledikleri rotaları oluştururlar.[11]

Bir kütleçekim alanında düşmekte olan cisimlerin izlediği yollar doğal hareketler ise bunlar Newton'a göre, bir kuvvetin etkisi altında olmayan nesnelerin doğal olarak izlediği yol olan doğruları takip etmelidir. Ama şimdi bir seçeneğimiz var; serbest parçacıklar nasıl uzayda doğrular boyunca hareket ediyorsa, Minkowski uzay-zamanında da doğrular boyunca hareket ederler. Bu durumda kütleçekimini temsil etmek için uzayı mı bükmeliyiz yoksa uzay-zamanı mı?

Blok evren perspektifinden baktığımızda yanıt açıktır: Bükülmesi gereken, uzay-zaman olmalıdır. Eşzamanlılığın göreliliği yüzünden farklı gözlemciler hangi olayların eşzamanlı olduğu konusunda anlaşamaz. Yani uzayın nasıl büküldüğünü betimlemenin basit, nesnel, gözlemcilerden bağımsız bir yolu yoktur.

Einstein, eşdeğerlik ilkesini uzay-zamanı bükerek hayata geçirmeyi seçtiğinde, bu bükülme sayesinde kütleçekiminin, kütleçekimsel alanda düşmekte olan nesnelerin keseller çizmesine yol açacak şekilde cisimlere etki edeceğini düşünüyordu. Serbest düşme halindeki cisimler Dünya'ya doğru bir kuvvet hissettikleri için değil, uzay-zamandaki bükülme kesellerin Dünya'nın merkezine doğru kavislenmesine neden olduğu için düşeceklerdi. Gezegenlerin, Güneş'in etrafında dönmelerinin sebebi, Güneş'in üzerlerinde uyguladığı kuvvet değil, Güneş'in devasa kütlesi yüzünden uzay-zaman geometrisinin kesellerin eğrilmesine neden olacak şekilde bükülmüş olmasıdır.

Böylece Einstein, kütleçekimini uzay-zaman geometrisinin bir özelliği olarak açıklamıştır. Geometri, maddeyi keseller boyunca hareket etmesini sağlayacak şekilde etkiler. Ama Einstein'ın genel görelilik kuramının en müthiş yanı, bu eylemin karşılıklı olmasıdır. Einstein kütlenin, geometrinin bükülmesine yol açtığını ve bu nedenle kesellerin diğer cisimleri geometriyi büken bu kütleli cisme doğru ivmelendirdiğini öne sürmüştü. Bu fikri hayata geçirmek için önerdiği denklemler, uzay-zamanın kütleçekiminin etkilerini taklit edecek biçimde bükülmesini sağlıyordu.

Bu denklemlerin gözlemlerle yüksek hassasiyette doğrulanmış birçok sonucu vardır. Denklemler tüm evrenin genişlemesine neden olur. Gezegenlerin, Güneş etrafındaki, Ay'ın da Dünya çevresindeki yörüngesinin, Newton fiziğinin tahminlerinden çok az farklı olduğunu öngörürler; bu etkiler gözlenmiştir. Aşırı derecede yoğun cisimlerin çevresindeki uzay-zamanın ışığın bile asla kaçamayacağı ölçüde bükülmesine neden olurlar; bu cisimler kara deliklerdir ve birçok gökadanın merkezinde son derece büyük kütleye (milyonlarca yıldız kütlesine) sahip kara delikler bulunmaktadır.

Belki de genel görelilik denklemlerinin en dikkat çekici sonucu, uzay-zamanda hareket eden dalgaların uzay-zamanın geometrisini bozmasıdır. Bu dalgalar bir göletin yüzeyindeki dalgalanmalara benzer; dalgalar geçerken salınım gösteren uzayın geometrisidir. Bu kütleçekimi dalgaları, birbiri etrafında dönen nötron yıldızları gibi çok büyük kütleli cisimlerin hareketlerindeki hızlı değişimlerden kaynaklanır ve bu şiddet dolu olayların görüntüsünü evrenin diğer ucuna taşır. Günümüzde söz konusu görüntüleri saptamaya yönelik yoğun bir çalışma yapılmaktadır; bu çalışma sonucunda, gökbilimde çöken süpernovaların içini ve Büyük Patlama'nın ilk anlarını (hatta belki daha da öncesini) görmemizi sağlayacak yeni bir pencere açılacaktır.

Kütleçekimi dalgalarının etkileri dolaylı olarak görülmektedir. İki nötron yıldızı birbirleri etrafında hızla dönüyorsa bunların ürettiği kütleçekimi dalgaları sistemden enerji çalar ve yıldızların bir spiral çizerek birbirlerine yaklaşmasına neden olur. Bu spiral çizme gözlenmiş ve genel göreliliğin tahminleriyle yüksek derecede uyumlu olduğu görülmüştür.



Einstein, genel göreliliği ortaya atarak uzay ve zaman algısında köklü bir dönüşümün fitilini ateşlemiştir.

Newton fiziğinde, uzayın geometrisi kesinlikle sabittir. Uzayın, üç boyutlu Öklit uzayı geometrisine sahip olduğu varsayılır.

Bu durumda, Newton fiziğinde uzay ile madde arasındaki ilişkinin rahatsız edici derecede asimetrik bir tarafı vardır: Uzay, maddeye nasıl hareket edeceğini söylüyor gibi görünmekle birlikte kendisi asla değişmez. Yani karşılıklılık yoktur. Uzay hiçbir zaman maddenin hareketinden, hatta varlığından etkilenmez. İçinde hiç madde olmasa da uzay yine aynı uzay olurdu.

Bu asimetri, uzayın dinamik bir hâle geldiği genel görelilikte düzeltilmiştir. Tıpkı geometrinin, maddenin hareketini belirlemesi gibi, madde de geometrideki değişimleri belirler. Elektromanyetik alan gibi geometri de tamamıyla fiziğin bir konusu hâline gelir. Bu durumda, uzay-zaman dinamiğini ortaya koyan Einstein denklemleri de diğer hipotezler gibidir: Fiziksel olayların özellikleri ile bu olaylar arasındaki ilişkileri incelerler.

Uzay-zamanın geometrisi daima sabit kalsaydı, uzayın ve zamanın mutlak olduğunu söylerdik: Bununla Newton'un uzay ve zamanın özelliklerinin, zaman dışı ve sabit olduğunu söyleyen görüşü arasındaki fark sadece ayrıntılarda kalırdı. Geometrinin dinamik olması ve maddenin dağılımından etkilenmesi, Leibniz'in uzay ve zamanın salt ilişkisel olduğu fikrini hayata geçirir.

Einstein, ilişkisel uzay ve zaman kuramını formüle dökerken, *Mach ilkesi* adını verdiğimiz bir ilkeyi ortaya atan Ernst Mach'tan etkilenmişti. Bu ilke, yalnızca göreli hareketin önem taşıdığını söyler, yani eğer kendi etrafımızda döndüğümüzde başımız dönüyorsa bunun nedeni, uzaktaki gökadalara göre dönmemiz olmalıdır. Bu etkinin tamamen göreli hareketten kaynaklandığı iddiası, biz hareketsiz kalsak ama tüm evren çevremizde dönse, başımızın yine aynı şekilde döneceği anlamına gelir.

Ancak genel görelilik bu gibi açılardan radikal bir kuram olsa da başka bir açıdan tutucudur: genel görelilik kuramı da kolaylıkla Newton paradigmasına dâhil edilebilir. Geometri ile maddenin birlikte bulunabileceği olası konfigürasyonlardan oluşan bir uzay vardır. Başlangıç koşulları verildiğinde, Einstein'ın denklemleri belirli bir uzay-zamanın ve maddeyle ışıma da dâhil bu uzay-zaman içindeki her şeyin tüm gelecek geometrisini belirler.

Doğanın tüm tarihi genel görelilikte de yine matematiksel bir nesne ile temsil edilir. Genel görelilikteki uzay-zaman, Newton'un kuramındaki üç boyutlu Öklit uzayından çok daha karmaşık bir matematiksel nesneye karşılık gelir. Ama bir blok evren olarak görüldüğünde zaman dışıdır ve saftır; geçmiş ile gelecek arasında herhangi bir ayrım olmadığı gibi, şu anın bilincinde olmamızın herhangi bir rolü de böyle bir bilincin varlığına dair bir işaret de yoktur.



Genel görelilik kuramının, zamanın fizikteki temel rolüne indireceği bir darbe daha vardı. Zamanın gerçek ve temel olduğu fikri, zamanın bir başlangıcı olamayacağı düşüncesini de beraberinde getirir. Çünkü eğer zamanın bir başlangıcı varsa bu başlangıç, zamandan başka bir şey aracılığıyla açıklanabilmelidir. Eğer zaman, zaman dışı bir şeyle açıklanabiliyorsa bu durumda zaman, temel değildir ve zamanı ortaya çıkaran şey her ne ise zamandan daha temeldir. Ne var ki genel görelilik denklemlerince betimlenen akla uygun tüm evren modellerinde, zamanın daima bir başlangıcı vardır.

Genel görelilik kuramının 1916'da yayımlanmasından sonraki bir yıl içerisinde Einstein kuramı tüm evrene uygulamıştı. Bunu yaparken, evrenin tıpkı bir küre gibi sonlu büyüklükte olduğunu ama bir sınırı olmadığını kabul etti. Bu, önemli bir adımdı; evreni ilk kez kendi içinde hapsolmuş ve sonlu bir biçimde görmek mümkün oluyordu. Belirli bir büyüklüğü vardı ama dışına çıkmak imkânsızdı. "Evrenin dışı" ifadesinin hiçbir anlamı yoktu.

Einstein, evreni kapalı bir hâle getirirken, zamanı ölçmek için kullanılan tüm saatlerin, sistemin içinde olduğunu varsaymak zorundaydı. Bunu, kuramındaki denklemlerin yeni bir özelliği sayesinde yapabiliyordu: bu denklemler zamanı ölçmek için kullanılan saatler ve uzayı ölçmek için kullanılan araçlar ne olursa olsun akla uygun sonuçlar veriyordu. Zaman ve uzay ne kadar tuhaf ve karmaşık bir şekilde ölçülürse ölçülsün denklemler

yine de işliyordu. Bu sayede, kuram artık sistemin dışında çalışan özel saatlerin yaptığı ölçümlere bağımlı değildi.[12] Genel görelilik, sistemin dışındaki bir saat gereksinimini ortadan kaldırarak ilişkisel bir fizik kuramına bir adım daha yaklaşır. Ama yine de zaman dışı bir konfigürasyon uzayına etki eden zaman dışı yasalar temelinde ifade edilebilir olduğu için Newton paradigmasına dayanmaktadır.

Başlangıçta Einstein, yalnızca uzayda sınırlı olan değil, aynı zamanda ebedi olan ve zaman içerisinde değişmeyen bir evren modeli arıyordu. Her ne kadar bildiğimiz en orijinal düşünce biçimine sahip bilim insanlarından biri olsa da Einstein'ın hayal gücü burada yetersiz kalmıştır, çünkü görüldüğü kadarıyla evrenin durağan ve ebedi olmayabileceği aklına gelmemiştir. Ancak kütleçekimi kuvvetinin evrensel olarak çekici olması ve cisimleri daima birbirine yaklaştırması bir sorun oluşturuyordu. Bu, kütleçekiminin tüm evreni etkileyerek onun büzülmesine neden olacağı anlamına gelir. Eğer evren genişliyorsa kütleçekimi bu genişlemeyi yavaşlatacaktır. Eğer evren ne genişliyor ne de büzülüyorsa kütleçekimi büzülmeyi başlatacaktır. Dolayısıyla Einstein, evrenin zamanla değişerek ya genişlemek ya da büzülmek zorunda olduğunu öngörebilirdi. Bunun yerine, evrenin durağan kalmasını sağlamak için kuramını değiştirdi ve istemeden farklı bir keşifte, yakın döneme kadar deneylerle doğrulanamayan bir keşifte bulundu.

Einstein, denklemlerini kütle çekimini dengeleyen bir terim ekleyerek değiştirdi ve bu da evrenin genişlemesinin yolunu açtı. Bu değişiklik, boş uzayın enerji yoğunluğunu temsil eden yeni bir doğa sabitini de beraberinde getiriyordu. Einstein, buna *kozmolojik sabit* adını verdi. Yakın dönemde evrenin genişlemesinde gözlemlenen ivme ya da hızlanma, bu sabiti destekler niteliktedir. Genişlemedeki ivmenin nedeni olan şeye verilen daha genel bir isim *karanlık enerjidir* ama eğer yoğunluğu uzay ve zaman içerisinde sabitse bu enerji, Einstein'ın kozmolojik sabiti ile betimlenebilir. Şimdiye kadar yapılan gözlemler bu yaklaşımla uyum içinde olsa da bazı kozmolojik senaryolar karanlık enerjinin er geç değişiklik göstermesini gerektirir.

Einstein'ın bir gün bu sabitin ölçüleceğini düşündüğünü hiç sanmıyorum ama ölçüm yapılmıştır. Einstein'ın kozmolojik sabiti son derecede küçük bir değere sahip olsa da söz konusu sabitin etkileri çok büyüktür. Kendisi küçük olmasına rağmen etkisi evren boyunca toplanarak artar. Dolayısıyla evreni etkileyen iki zıt kuvvet bulunur. Tüm maddenin kütleçekimi büzülmeye neden olurken kozmolojik sabit genişlemeyi hızlandırır.

Einstein, bu kuvvetlerin tam tamına dengede olduğu durağan bir evren önermişti. Ama bu öneride de bir sorun vardı. Söz konusu denge kararsızdı. Evrende küçük bir değişiklik yaparsanız iki eğilimden biri ağır basar, yani evren ya sonsuza kadar genişler ya da büzülür. Evren, hareket eden yıldızlar, kara delikler ve kütleçekimi dalgalarıyla doludur; bütün bu etkenler, dengenin uzun süre bozulmadan kalmasını imkânsız kılacak kadar değişikliğe neden olur.

Ulaştığımız hayret verici sonuç, evrenin bir tarihi olması gerektiğidir. Evren genişleyebilir ve büzülebilir ama aynı kalamaz. Birkaç gökbilimci ve fizikçi, 1920'li yıllarda genel görelilik denklemleri için genişleyen evrenleri betimleyen bazı çözümler buldu. İyi ki böyle olmuştu, çünkü 1927'de gökbilimci Edwin Hubble, evrenin genişlediğine dair kanıtlar bulmuştu ve bu da genişlemenin bir başlangıcı olduğunu akla getiriyordu. Gerçekten de bu yeni çözümlerin kararsız olmayanlarının her birinde zamanın bir başlangıç noktası vardı.

Söz konusu çözümler Alexander Friedmann, H. P. Robertson, Arthur Walker ve Georges Lemaitre tarafından ortaya konulmuştur ve FRWL evrenleri adıyla anılırlar. Uzayın her yerinde evrenin aynı olduğunu varsayan, son derece basit modellerdir: Yani bu modellerde her yerde aynı madde ve enerji yoğunluğu geçerlidir. Bir FRWL evreninde, zamanın ilk anında madde ve ışıma yoğunluğu ile kütleçekim alanının şiddeti sonsuzdur ve bir *başlangıç tekilliği* oluşturur. O noktada genel görelilik artık işlemez çünkü denklemler şu anın geleceğe evrimini betimleyemez. Sonsuz nicelikler, denklemlerin çökmesine neden olur.

Çoğu fizikçinin buna tepkisi, denklemlerin incelenen modeller çok basit olduğu için çöktüğünü söylemek oldu. Evrenin yıldızlar, gökadalar ve kütleçekimi dalgaları gibi yerel özelliklere sahip olabilmesi için daha fazla ayrıntıyı eklediğimizde tekilliğin ortadan kalkacağını ve o noktanın öncesinde zamanda geri gitmeye devam edebileceğinizi öne sürüyorlardı. Bu hipotezi doğrulamak zordu, çünkü süper bilgisayarlardan önce Einstein'ın kuramındaki denklemlerin genel çözümlerini tam olarak incelemek mümkün değildi. Böylece sırf test edilmesi zor olduğu için bu hipotez on yıllar boyunca ayakta kaldı. Ama sonunda yanlış olduğu anlaşıldı. Stephen Hawking ile Roger Penrose, 1960'larda genel göreliliğin bizim evrenimizi betimleyebilecek tüm çözümlerinde tekillikler bulunduğunu söyleyen bir teoremi ispatladı.

Eğer genel görelilik gerçekten evrenimizi betimliyorsa zamanın temel olamayacağı sonucundan kaçınmak zordur. Aksi hâlde bazı can sıkıcı soruları yanıtlamamız gerekecektir. Örneğin, zaman başlamadan önce ne olmuştu? Evreni başlatan neydi? Daha da akıl karıştırıcı olan zaman dışı yasalar hakkındaki sorulardır: Eğer yasalar zaman dışıysa yönetebilecekleri bir evren olmadan önce bu yasalar ne yapıyordu? Elbette bu sorunun yanıtı evrenden önce zaman *yoktu* şeklinde olmalıdır. Bu, yasaların zamandan daha temel olduğu anlamına gelir.

Söz konusu çözümlerin bazılarında zaman, bir kez başladıktan sonra sonsuza kadar devam eder ve evren de sonsuza kadar genişleyip seyrelir. Diğer başka çözümlerde ise evren azami bir genişliğe ulaşır, sonra gözlenebilir birçok niceliğin yeniden sonsuza ulaştığı bir Büyük Çatırtı ile çöker; bu son gruptaki çözümler zamanın da bir sonunun olduğu evrenleri tanımlamaktadır. Zaman dışı bir bütün olarak ele alınan evren tarihini gerçek kabul eden blok evren görüşü için zamanın durması ve başlaması bir sorun teşkil etmez. Zamanın başladığı ya da sona erdiği bir dünya, bu gerçekliği herhangi bir şekilde tehlikeye atmamaktadır. Tersine, tüm evreni betimleyen genel görelilik çözümlerinde zamanın bir başlangıcı olduğunun keşfi, zamanın yasalardan daha temel olduğu iddialarını zayıflattığı için blok evren görüşünü güçlendirmiş olur.

Zamanın fizikçilerin doğa anlayışından sürülmesine ilişkin hikâyemizde epeyce yol aldık. Yolculuğumuza, Galileo ve Descartes gibi, zamanı bir başka uzay boyutu olarak temsil eden grafik çizme yöntemleriyle zamanı dondurup hareketi yakalayarak başladık. Görelilik kuramında, zaman içerisindeki hareketi gösteren bu resimler şimdiki anı hiçbir şekilde gerçek görmeyen zaman dışı bir evren tarihi resmine, yani uzay-zamana dönüşür. Eşzamanlılığın göreliliği, bize geri dönüp zamanı uzaydan ayıramayacağımızı söyler. Yalnızca ileriye, evren tarihini zaman dışı bir bütün olarak sunan blok evren görüşüne gidebiliriz. Özel ve genel göreliliğin deneylerle büyük oranda doğrulanması, biz fizikçilere zaman dışı bir gerçeklik resmini benimsemek için pek çok neden vermiştir.

Kuantum Kozmolojisi ve Zamanın Sonu

Hampshire Koleji'ndeki ilk sömestri izleyen Noel tatilinde kuzenimin Greenwich Village'deki apartmanında kalmak için New York'a gelmiştim. Sabah, ilk fizik konferansıma, ihtişamlı bir isme sahip 6. Teksas Göreli Astrofizik Sempozyumu'na katılmak üzere metroya bindim. Sempozyum, Manhattan'daki lüks bir otelde düzenleniyordu. Davetiyem yoktu, kayıt yaptırdığımı da hatırlamıyorum ama fizik profesörüm Herb Bernstein, uğramamı tavsiye etmişti. Orada kimseyi tanımıyordum ama her nasılsa Caltech'ten Kip Thorne ile tanıştım, bana genel göreliliği iyice öğrenebilmek için Charles Misner ve John Archibald Wheeler ile birlikte yeni yazdıkları ders kitabını okumam gerektiğini söyledi.[1] Oxford'da çalışan genç bir Amerikalı matematikçi olan Lane Hughston ile tanıştım. Bir saatini bana devrim niteliğindeki yeni burgu kuramını anlatmaya ayırdı ve sonra da beni kuramı ortaya atan Roger Penrose ile tanıştırdı

Bir oturumda koridor kenarındaki bir koltukta otururken motorize tekerlekli sandalyede bir adam yanıma yaklaştı. Stephen Hawking daha o zaman genel görelilik konusundaki çalışmala-

rı nedeniyle ün kazanmıştı ve anlattığım konferans, kara deliklerin aslında sıcak olduğuna ilişkin müthiş keşfinden bir yıl önceydi. Kibar tavırlı, uzun boylu ve sakallı bir adam durup onunla sohbet etti, sonra da kürsüye çağrıldı. Bu adam Bryce DeWitt idi. Ne hakkında konuştuğunu hatırlamıyorum ama adını ve kuantum evrenleri betimleyen denklemlerini duymuştum. İkisi ile de konuşacak kadar cesaretim yoktu, yedi yıl sonra doktoramı tamamladığımda çağdaş fiziğin bu iki devinin beni birlikte çalışmak üzere davet edeceklerini kesinlikle hayal edemezdim.

Bryce DeWitt, John Wheeler, Charles Misner ve Stephen Hawking o dönemde kuantum kozmolojisi adı verilen yeni bir çalışma alanının yaratılması çalışmalarının tam ortasındaydılar. Genel görelilik ile kuantum kuramını birleştirmeleri, modern fiziğin zaman dışı dünyasında ulaştığımız zirveyi temsil eder. Betimledikleri kuantum evreninde zaman sadece gereksiz olmakla kalmaz, tamamen ortadan kaybolur. Kuantum evreni evrilmez ya da değişmez, genişlemez ya da büzülmez. Sadece vardır.

Vurgulamak gerekir ki bu konu kuramsal fiziğin henüz gözlemlerle somut bir bağlantısı olmayan, oldukça kurgusal ve şiirsel bir dalıdır. Modelden çıkarabileceğiniz sonuçlar, deneysel olarak tekrar tekrar doğrulanan ve öngörülerinin doğruluğu ile bizi şaşırtmaya devam eden görelilik kuramındaki doğa resminin sahip olduğu itibardan yoksundur.

Kutuda fizik yapma yönteminin bir zaferi olan kuantum mekaniği ile başlıyoruz. Önce kuantum mekaniğinde evrendeki alt sistemlerin nasıl modellendiğine ilişkin birkaç temel hususu açıklamam gerek. Bu açıklamaya dayanarak iki adımda günümüz fiziğinden kuantum kozmolojisine geçeceğiz. İlk adımda kuantum mekaniği ile genel göreliliği birleştirerek bir kuantum kütleçekim kuramı elde etmeliyiz. Bu birleştirmeye yönelik farklı yaklaşımlar olmasına rağmen, henüz aralarında seçim yapmamıza yardımcı olacak bir deney yoktur. Ancak böyle bir kuramı nasıl formüle edebileceğimiz konusunda sahip olduğumuz bilgiler, tüm evrenin kuantum kuramına dâhil edilmesini içeren ikinci adıma geçmek için yeterlidir.

Sonuçta zaman dışı bir doğa resmi elde ettiğimizi göreceğiz.

Kuantum mekaniği, atomlar ve moleküller gibi mikroskobik sistemleri çok başarılı bir şekilde betimler. Ama kafa karıştırıcıdır. İnsanların kurama anlam verme çabaları sonucunda, birbirinden son derece farklı birkaç açıklama biçimi ortaya atılmıştır. Bunlar, zaman ve kuantum kuramının tüm evren için geçerli olup olmadığı konularında farklı şeyler söyler. Bu her iki konu da burada ele aldığımız temel konular arasındadır.[2]

Bence, kuantum mekaniğini açıklamanın en iyi yolu, öncelikle bilimin neye yaradığından bahsetmektir. Çoğu kişiye göre bilimin amacı, doğanın gerçekte nasıl olduğunu betimlemek, gözümüzle görmesek bile doğru olduğuna inanabileceğimiz bir dünya resmi çizmektir. Siz de bilimi böyle görüyorsanız kuantum mekaniği sizi hayal kırıklığına uğratacaktır, çünkü tek bir deneyde olup bitenlere dair bir resim sunmaz.

Kuantum kuramının kurucularından biri olan Niels Bohr, böyle hayal kırıklığına uğrayanların bilimin ne işe yaradığını bilmediklerini iddia etmişti. Sorun, kuramda değil, kurama ilişkin beklentilerimizdedir. Bohr, bilimsel bir kuramın amacının doğayı betimlemek değil, bize dünyadaki nesneleri kullanabilmek için gereken kuralları vermek ve elde ettiğimiz sonuçları anlatmakta kullanabileceğimiz bir dil sunmak olduğunu söylemişti.

Kuantum kuramının dili, doğaya aktif bir şekilde müdahalede bulunulduğunu kabul eder, çünkü bir deneycinin mikroskobik bir sistemi nasıl sorguladığından bahseder. Deneyci, sistemi yalıtılmış ve incelenmeye uygun bir şekilde hazırlayabilir. Farklı dış etkilere maruz bırakarak dönüştürebilir. Sonra da sisteme sormak istediği soruların yanıtlarını gösteren araçlar kullanarak sistemi ölçümleyebilir. Kuantum mekaniğinin matematiksel dili, hazırlık, dönüştürme ve ölçüm sürecindeki her adımı temsil eder. Bir kuantum sistemine yaptıklarımızı vurgulaması nedeniyle, bunun işlemsel bir kuantum fiziği yaklaşımı olduğu söylenebilir.

Bir sistemin kuantum betimlemesinin merkezindeki matematiksel nesneye *kuantum durumu* adı verilir. Kuantum durumları gözlemcinin, bir kuantum sistemini hazırlamak ve ölçmek süre-

tiyle o sistem hakkında edinebileceği tüm bilgileri içerir. Bu bilgi sınırlıdır ve çoğu zaman sistemi oluşturan parçacıkların tam olarak nerede bulunduklarını öngörmeye yetmez. Kuantum durumları bunun yerine konumlarını ölçmeye kalksak parçacıkları nerede bulabileceğimize dair *olasılıkları* verir.

Bir çekirdek ile çevresinde dönen birkaç elektrondan oluşan bir atomu ele alalım. Atoma ilişkin yapabileceğiniz en kesin betimleme, her elektronun nerede olduğunu söylemek olacaktır. Elektronların her dizilimi bir konfigürasyondur. Kuantum mekaniğinin yapabileceği en iyi betimleme ise bunun yerine elektronları içinde bulabileceğimiz tüm olası konfigürasyonların olasılıklarını saptamaktır.[3]

Bir kuramın öngörüleri, olasılıklardan ibaret ise bu öngörüleri nasıl kontrol edersiniz? Attığınız bir paranın yüzde elli ihtimalle tura geleceği tahminini ele alalım. Bu tahmini kontrol etmek için parayı bir kez atmanız yetmez; sonuç ya tura ya da yazı olacaktır ve iki sonuç da her birinin yüzde elli ihtimalle gerçekleşeceği tahminiyle uyumludur. Parayı birçok defa atıp bunlardan kaçının tura geldiğini kaydetmeniz gerekir. Yazı-tura atma sayınız arttıkça turaların oranı yüzde elliye yaklaşacaktır. Kuantum mekaniğinin olasılıkçı öngörüleri için de aynı durum geçerlidir: Bu öngörüleri doğrulamak için bir deneyi defalarca yapmanız gerekir.[4] Tek bir kuantum sistemini ölçmek yalnızca bir defa yazı-tura atmaya benzer: Elde edeceğiniz her rastlantısal sonuç, kuramın hemen hemen tüm öngörüleri ile uyumlu olacaktır.

Bu yöntem yalnızca bir hidrojen atomu gibi küçük, yalıtılmış sistemlere uygulandığında akla uygundur. Öngörüleri kontrol etmek için sistemin tıpatıp aynı birçok kopyasına ihtiyacımız vardır; eğer elimizde yalnızca bir kopya varsa öngörüleri kontrol edemeyiz, çünkü bu öngörüler olasılığa dayanır! Ayrıca bu sistemler topluluğunu manipüle ederek önce ilgilendiğimiz kuantum durumuna girecek şekilde hazırlayabilmemiz, sonra da sistemlere ilişkin bir şeyi ölçebilmemiz gerekir. Ama eğer dünyadaki bir sistemin birçok kopyası bulunuyorsa her kopya var olanın yalnızca küçük bir kısmını oluşturuyor demektir. Sistem konfi-

gürasyonlarını ölçmekte kullandığımız araçlar ve koordinat eksenleri de sistemin parçası olmayan şeyler arasındadır.

Dolayısıyla kuantum mekaniğinin sadece yalıtılmış sistemlere uygulanabileceği anlaşılmaktadır. Bu, Newton paradigmasının yani kutuda fizik yapmanın bir uzantısıdır. Kuantum mekaniği yönteminin yalıtılmış sistemlerin incelenmesine ne kadar bağlı olduğunu görmek için zamanla meydana gelen değişimlerin nasıl betimlendiğine bakalım.

Newton fiziği yasaları deterministtir yani kuram bir sistemin zaman içinde nasıl değişeceğine ilişkin kesin öngörülerde bulunur.

Benzer şekilde, bir kuantum mekaniği yasası da bize bir sistemin kuantum durumunun zamanla nasıl değiştiğini söyler. Bu yasa da deterministtir: başlangıçtaki kuantum durumunu biliyorsanız daha sonraki bir zamanda kuantum durumunun ne olacağını tam olarak öngörebilirsiniz.

Kuantum durumlarının değişimine ilişkin yasaya *Schrödinger denklemi* denir. Bu denklem, tıpkı Newton yasaları gibi işler ama parçacıkların konumları yerine kuantum durumlarının zamanla nasıl değiştiğini anlatır. Başlangıç kuantum durumunu girdiğinizde, Schrödinger denklemi size daha sonraki herhangi bir anda kuantum durumunun ne olacağını söyleyecektir.

Newton fiziğindeki gibi, saat de gözlemciler ve ölçüm cihazları da sistemin dışında bulunmalıdır.

Kuantum durumunun değişimi determinist olmakla birlikte, atomların kesin konfigürasyonlarına ilişkin söyledikleri olasılığa dayanır, çünkü kuantum durumu ile konfigürasyonlar arasındaki bağlantının kendisi de olasılığa dayalıdır.

Kuantum mekaniğindeki zamanı ölçen saatin sistemin dışında olması şartı, kuantum kuramını bir bütün olarak evrene uygulamaya çalıştığımızda bazı iç açıcı olmayan sonuçlara yol açar. Tanımı gereği hiçbir şey bir saat bile, evrenin dışında olamaz. Öyleyse evrenin kuantum durumu evrenin dışındaki bir saate göre nasıl değişecek? Böyle bir saat olmadığına göre, bu soruya yalnızca dışarıdaki bir saate göre evrenin değişmediği şeklinde yanıt verilebilir. Sonuçta, evrenin dışındaki hayali bir noktadan

bakıldığında, evrenin kuantum durumu zaman içerisinde donmuş gibi görünür.

Bunun bizi kolaylıkla yanıltıcı sonuçlara götürebilecekmiş gibi görünen hınzırca bir açıklama olduğunu kabul etmeliyiz. Ama bu örnekte matematik hatasızdır ve bize, Schrödinger denklemi evrenin kuantum durumuna uygulandığında karşılaştığımız sonucun aynısını verir: Kuantum durumu zaman içinde değişmez.

Kuantum kuramında, zaman içerisindeki değişim enerjiye bağlıdır. Bu, kuantum fiziğinin dalga-parçacık ikilemi olarak bilinen temel bir özelliğinin sonucudur.

Newton, ışığın parçacıklardan oluştuğunu düşünüyordu. Daha sonra kırılma ve girişim olguları incelendi ve bunları açıklamak için ışığın bir dalga olduğu hipotezi ortaya atıldı. Einstein, 1905 yılında ışığın doğasına ilişkin bu ikilemi, ışığın hem dalgaya hem de parçacığa benzer özellikleri olduğunu ileri sürerek çözdü. Neredeyse yirmi yıl sonra Louis de Broglie, bu dalga ve parçacık ikileminin evrensel bir özellik olduğunu öne sürdü: Hareket eden her şey hem dalgaların hem de parçacıkların bazı özelliklerini taşır.

Buna akıl erdirmek zor gibi gelebilir. Hem dalga hem de parçacık olan bir şeyi göz önünde canlandırmak herhalde mümkün değildir. Kesinlikle! Daha önce belirttiğim gibi, kuantum mekaniğinin betimlediği olguları göz önünde canlandırmak imkânsızdır. Kuantum parçacıklarını deneylerde ustalıkla kullanabilir ve ölçümlere nasıl tepki verdikleri hakkında konuşabiliriz ama bunu yapmadığımız zamanlarda neler olduğunu gözümüzde canlandıramayız.

Işığın dalgaya benzer yönlerinden biri frekansı yani bir saniye içerisindeki salınım sayısıdır. Işığın parçacığa benzer yönlerinden biri ise enerjisidir; her ışık parçacığı belirli bir miktarda enerji taşır. Kuantum mekaniğinde, parçacık resmindeki enerji daima dalga resmindeki frekans ile orantılıdır.[5]

Dalga-parçacık ikilemini böylece kavradıktan sonra evrenin kuantum durumuna geri dönelim. Evrenin dışında bir saat olmadığından, evrenin kuantum durumu zamanla değişemez. Öyley-

se salınım frekansı sıfır olmalıdır yani evren donmuşsa salınım yapamaz. Ama frekans ile enerji orantılı olduğuna göre, bu evrenin enerjisinin de sıfır olduğu anlamına gelir.

Kütleçekiminin bir arada tuttuğu her sistemde hapsolmuş bir negatif enerji bulunur. Güneş sistemini ele alalım. Eğer Venüs'ü, Güneş etrafındaki yörüngesinden alıp güneş sisteminden çıkarmak isterseniz enerjiye ihtiyacınız vardır. Venüs'ü enerjiye sahip olmadığı bir duruma getirmek için (yani güneş sisteminden çok uzak bir konuma getirmek için) enerji eklemeniz gerektiğine göre, yörüngesinde hapsolmuş durumdayken Venüs, negatif enerjiye sahip olmalıdır. Bu negatif enerjiye, kütleçekimsel potansiyel enerji denir.

Evrenin tüm parçalarını bir arada tutan toplam kütleçekimsel potansiyel enerji, tüm maddenin kütlesinden ve hareketlerinden kaynaklanan pozitif enerjinin tümünü tam olarak dengeliyorsa evrenin toplam enerjisi sıfır olabilir.

Sıfır enerjiye ve sıfır frekansa sahip evrenin kuantum durumu donmuştur. Kuantum evreni genişlemez veya büzülmez. İçinde kütleçekimi dalgaları yayılmaz. Gökada oluşumu da yıldızların etrafında dönen gezegenler de yoktur. Kuantum evreni sadece vardır.[6]

Kuantum mekaniğinin tüm evrene uygulanmasıyla elde edilen bu sonuçlar, 1960'lı yılların ortasında DeWitt, Wheeler ve Peter Bergmann gibi kuantum kütleçekiminin öncüleri tarafından keşfedilmiştir. Schrödinger denkleminin yukarıda bahsettiğimiz uygulaması (kuantum durumunun donmuş olması şartıyla) bu öncülerden ikisinin adıyla, *Wheeler-DeWitt denklemi* olarak bilinir. Bu bilim insanları, kısa sürede, zamanın kaybolduğunu fark etti ve insanlar bunun ne anlama geldiğini tartışmaya başladı. Biz de hâlâ tartışıyoruz. Birkaç yılda bir, birileri Kuantum Kozmolojisinde Zaman Sorunu konulu bir konferans düzenler. İnsan zekâsı sınırsızdır, bu yüzden çok geniş bir yelpazede yanıtlar ve öneriler ortaya atılmıştır.

Kuantum kuramını kozmolojiye uygulamaya kalktığımızda ters giden tek şey evrenin donmuş bir hâl alması değildir.[7]

Yalnızca bir evren olduğundan, özdeş kuantum durumuna sahip birçok sistem oluşturarak bunlar üzerinde yaptığınız ölçümleri kuantum mekaniğince öngörülen olasılıklarla karşılaştırmanız imkânsızdır. Daha bu noktada, kuramı gözlemlerle veya deneylerle karşılaştırma olanağımız ciddi biçimde daralır.

Durum aslında daha da kötüdür, çünkü farklı başlangıç durumu seçimlerinin getireceği sonuçları incelemek bir yana, evreni belirli bir kuantum başlangıç durumuna gelecek şekilde hazırlamanız bile mümkün değildir. Evren yalnızca bir kere meydana gelmiştir, başlangıç durumu o sırada her ne idiyse odur. Başlangıç durumunu seçmek üzere orada değildik, olsaydık bile evrenin bir parçası olduğumuz için evreni istediğimiz gibi değiştiremezdik. Evreni belirli bir başlangıç durumunda hazırlama fikri bile tanrısal bir şekilde evrenin dışında bulunduğumuzu hayal etmek anlamına gelir.

Kuantum kozmolojisinin trajedileri zorlu bir liste oluşturur: Kuantum evreninin başlangıç durumunu hazırlayamayız, evrenin dışından evreni etkileyip dönüştüremeyiz. Kuantum denklemlerinin sunduğu olasılıklara anlam vermemizi sağlayacak bir evrenler grubuna erişimimiz yoktur. Bunlar yetmezmiş gibi, evrenin dışında ölçüm aygıtlarımızı koyabileceğimiz bir yer de yoktur. Yani incelenen kuantum sisteminin dışındaki bir saat ile değişimi ölçmek de söz konusu değildir.

İşlemsel bir bakış açısından, kuantum mekaniğini evrene uygulamak daha başından çılgınca bir fikirdi. Kuramı, onu tanımlayan işlemsel tanımlardan hiçbirinin bir anlam ifade etmediği şartlarda uygulamaya çalıştığımız için başarısız oldu. Bütün bunlar, evrenin küçük parçalarına iyice uyarlanmış bir yöntemi tüm evreni kapsayacak şekilde genişlettiğimiz için başımıza geldi.

Aslında sorun burada belirtilenden biraz daha zordur, çünkü genel görelilikte zaman koordinatının seçimi, daha önce de gördüğümüz gibi, tamamen keyfidir. Yani "Evrenin dışında bir saat *olsaydı,* bu saat evrenin içindeki hangi zaman kavramına karşılık gelirdi?" ve "Salınım yapan bir kuantum durumu *olsaydı,* evrenin içindeki hangi saatlere göre düzenli bir salınım olarak gö-

rünürdü?" sorularını sormanız gerekir. Bu soruların yanıtı şudur: "Tüm olası zaman kavramları ve tüm olası saatler." Sonuç olarak, Wheeler-DeWitt denklemleri bir tane değil, sonsuz sayıdadır. Bu denklemler, kuantum durumunun salınım frekansının, evrenin içerisindeki her olası zaman kavramı ve her olası saat için sıfır olduğunu öne sürer. Tüm olası gözlemcilerin taşıdığı tüm olası saatlere göre, kuantum evreninde hiçbir şey olmaz.

Bütün bu anlatılanlar, yirmi yıl boyunca akademik bir tartışma olarak kaldı, çünkü aslında Wheeler-DeWitt denklemlerini kimse çözemiyordu. Bu denklemlerin çözüme olanak verecek kadar kesin bir şekilde ifade edilmelerini sağlayan koşullar, ancak döngü kuantum kütleçekimi adı verilen kuantum kütleçekimi yaklaşımının bulunmasıyla ortaya çıkmıştır. Bu devrim, Abhay Ashtekar'ın 1985 yılında yeni bir genel görelilik formülasyonu keşfetmesi ile başladı.[8] Birkaç ay sonra California Üniversitesi Santa Barbara'daki Kuramsal Fizik Enstitüsü'nde (şimdiki Kavli Kuramsal Fizik Enstitüsü) Ted Jacobson (kendisi şimdi Maryland Üniversitesi'ndedir) ile birlikte çalışırken Wheeler-DeWitt denklemlerinin ilk tam sonuçlarını bulduk. Aslında sonsuz sayıda sonuç bulmuştuk.[9] Kütleçekim alanının kuantum durumunu tam olarak kâğıda dökebilmek için başka denklemlerin de çözülmesi gerekiyordu ve bunu da iki yıl sonra o zamanlar Roma Üniversitesi'ndeki Istituto Nazionale di Fisica Nucleare'de çalışmakta olan Carlo Rovelli ile birlikte başardık.[10] İşler hızlı gelişti ve 1990'ların başında Harvard'daki Thomas Thiemann tarafından çok daha geniş bir grup çözüm keşfedildi.[11] O zamandan beri, şimdi spin-köpük modeli adını verdiğimiz modellere dayanan çok daha güçlü çözüm üretme teknikleri geliştirilmiştir.[12] Bu sonuçlar, kuantum kütleçekimi kuramına ilişkin tüm bu matematiksel çözümlere fiziksel bir anlam verebilmek için zaman dışı bir evrendeki zaman sorununu acilen çözüme kavuşturma ihtiyacını artırmaktadır.

Sorunun can alıcı noktası şudur: zamanın doğada gördüğümüz etkileri ile kuram arasında bariz bir çatışmaya yol açmamak için zamanın, zaman dışı evrenden "ortaya çıktığını" söy-

leyebilir miyiz? Bazı meslektaşlarım zamanın evrene ilişkin kaba bir betimlemenin, yalnızca geniş ölçeklerde yararlı olan ama yakından bakıldığında dağılan bir betimlemenin parçası olduğunu söyler. Sıcaklık da böyledir: Büyük ölçekli cisimlerin sıcaklığı vardır ama tek başına bir parçacığın sıcaklığı yoktur, çünkü bir cismin sıcaklığı, onu oluşturan atomların enerjilerinin ortalamasıdır. Bazı fizikçiler, sıcaklık gibi zamanın da yalnızca büyük ölçeklerde anlamlı olduğunu, Planck ölçeğinde bir önem taşımadığını öne sürmüştür. Diğer yaklaşımlar, zamanı evrenin farklı alt sistemleri arasındaki karşılıklı ilişkilerde keşfetmeyi amaçlar.

Zamanın, zaman dışı bir evrende nasıl ortaya çıkabileceğine ilişkin bu yaklaşımlar hakkında sayısız saatler boyunca kafa yordum ancak içlerinden bir tanesinin bile işe yaradığına ikna olmuş değilim. Bazıları için teknik nedenlerim var; bu nedenleri burada açıklamak faydalı olmayacak. Kuantum kozmolojisine şüpheyle yaklaşmamın daha derin nedenlerine II. Kısım'da değineceğiz.

Bu tartışmanın karşı cephesindeki dostlarım, Wheeler-DeWitt denklemlerine ilişkin varsayımların, sadece kuantum mekaniği ve genel görelilik ilkeleriyle ilgili olduğunu öne sürer. Söz konusu ilkelerin tamamı kendi alanlarında deneysel açıdan yeterince doğrulanmış olduğuna göre, öncelikle tüm sonuçlarını ciddiye almak ve bu sonuçları iyice anlayıp geliştirmeye çalışmak akıllıca olacaktır.

Doktora sonrası öğrencilerinden biriyken Bryce DeWitt, metafizik ön yargılarımızı bir kurama kabul ettirmeye çalışmayıp kuramın kendi yorumunu getirmesine izin vermemizi tavsiye ederdi. Hâlâ o yumuşak ses tonuyla "bırakın kuram konuşsun" dediğini duyar gibiyim.

Wheeler-DeWitt denklemleri çerçevesinde kuantum kozmolojisine anlam vermeye yönelik en iyi düşünülmüş yaklaşım, İngiliz fizikçi, filozof ve bilim tarihçisi Julian Barbour tarafından 1999'da yayımlanan *The End of Time* isimli kitapta önerilmiştir. Barbour'un fikri son derece radikaldir ama kelimelere dökmesi zor değildir. Barbour, var olan her şeyin temelde donmuş anlardan oluşan dev bir koleksiyon olduğunu öne sürer. Bu anların

her biri, bir evren konfigürasyonu biçimindedir. Her konfigürasyon, zamanın bir anı olarak vardır ve o konfigürasyon içindeki varlıklar tarafından yine zamanın bir anı olarak algılanır. Barbour, tüm anlardan oluşan koleksiyona "anlar yığını" adını verir. Yığındaki anlar, birbiri ardına diğer anları izlemez. Bir sıraları yoktur. Bu anlar yalnızca vardır. Barbour'un metafizik resminde, bu saf zaman anlarından başka hiçbir şey mevcut değildir.

"Ama ben zamanın aktığını hissedebiliyorum" diye itiraz edebilirsiniz. Barbour böyle bir şey hissetmediğinizi söyler. Aslında tek hissettiğimiz, der, anlardan yani deneyim enstantanelerinden ibarettir. Parmaklarınızı şıklatın. Bu bir fotoğraf, yani yığın içinde bir andı. Parmaklarınızı tekrar şıklatın. Bu da başka bir an. İkinci anın ilkini takip ettiğini zannediyorsunuz ama bu bir yanılsamadır. İkinci anda ilk anı hatırladığınız için böyle düşünüyorsunuz. Ama bu hatıra, zamanın geçtiğini gösteren bir *deneyim* değil (ki Barbour böyle bir şeyin asla olmadığını söyler); ilk ana ilişkin anılarınız ikinci andaki deneyiminizin bir parçası, o kadar. Deneyimlediğimiz tek şey (ve Barbour'a göre gerçek olan tek şey) yığındaki münferit anlardır.

Ancak yığında bir tür düzen de bulunur. Anlar, yığının içinde bir kereden fazla temsil edilebilir. Öyleyse anların *göreli sıklığından* bahsedebilirsiniz; yığında bir an başka bir ana göre bir milyar defa daha fazla mevcut olabilir.

Kuantum durumlarının verdiği olasılıklar, işte anların bu göreli sıklığına işaret eder. İki konfigürasyonun yığında görülmelerine ilişkin göreli olasılıkları, bunların kuantum durumundaki göreli olasılıkları tarafından belirlenir.

Söylenecek tek şey budur. Tek bir kuantum durumu tarafından betimlenen tek bir kuantum evreni bulunur. Bu evren, çok geniş bir anlar koleksiyonundan oluşur. Bazı anlar diğerlerinden daha fazladır. Hatta bazıları gerçekten de diğerlerine göre çok daha fazladır.

Yığında sık karşılaşılan konfigürasyonlardan bazıları sıkıcıdır. Bunlar, fotonlardan ya da hidrojen atomlarından oluşan bir gazla dolu bir evrendeki bir anı betimler. Barbour, evrenin fii-

li kuantum durumunda bu tür sıkıcı konfigürasyonlardan çoğunun hacminin küçük olduğunu iddia eder. Dolayısıyla küçüklük ile sıkıcılık arasında bir karşılıklı ilişki öngörür. Zamanın var olduğunu farz etseydik, "boyutu küçükken evren sıkıcıydı" derdik. Barbour ise "küçük olma ve sıkıcı olma, yığındaki anların birbiriyle çok yakından ilişkili olan iki özelliğidir" demenin yeterli olduğunu söyler.

Yığındaki diğer konfigürasyonlar ise ilgi çekicidir. Bunlar, tabakalar ya da kümeler halinde düzenlenmiş gökadalarda bulunan yıldızların etrafında dolanan gezegenlerde yaşayan bizim gibi canlılara sahip, karmaşık konfigürasyonlardır. Barbour, doğru kuantum durumunda karmaşıklık ve yaşamla dolu olmakla büyük bir hacim arasında karşılıklı ilişki olduğunu öne sürer. Bu nedenle yığındaki büyük hacimli konfigürasyonların çoğu hatta belki büyük kısmı, canlı varlıklar barındıracaktır.

Dahası Barbour, doğru kuantum durumunda, en sık karşılaşılan konfigürasyonların diğer anlara dolaylı olarak atıfta bulunan yapılar içerdiğini öne sürer. Barbour, bu atıflara, "zaman kapsülleri" adını verir. Bunlar hatıralar, kitaplar, tarihi eserler, fosiller, DNA, vesaireden oluşur. Kapsüller, birbiri üzerine eklenerek karmaşıklığa yol açan olaylardan meydana gelmiş bir anlar dizisi şeklinde yorumlayabileceğimiz bir hikâye anlatır. Yani zaman kapsülleri, zamanın aktığı yanılsamasını destekler.

Barbour'un kuramına göre, sebep-sonuç ilişkisi de bir yanılsamadır. Hiçbir şey başka bir şeyin nedeni olamaz, çünkü aslında evrende hiçbir şey olmamaktadır. Yalnızca bazıları, bizim gibi varlıklar tarafından deneyimlenen devasa bir anlar kümesi vardır. Gerçekte ise her bir ana ilişkin deneyimler, sadece o ana ilişkin deneyimlerden ibaret olup diğer anlarla herhangi bir bağlantıları yoktur. Anlar vardır ama bunların bir sırası olmadığı gibi, zamanın bir akışı da yoktur.

Ne var ki Wheeler-DeWitt denklemleri, sıralama ve sebep sonuç ilişkisi gibi yaklaşık kavramlarının ortaya çıkmasına olanak verir. Böylece en sık görülen anlar arasında karşılıklı ilişkiler ortaya çıkar ve bu ilişkiler de zaman içinde sebep-sonuç süreçlerin

işlemesini mümkün kılan bir anlar dizisi varmış izleniminin doğmasına yol açar. Kabaca bakıldığında, bu anlar dizisi hikâyesi, anlar içinde meydana gelen yapıları açıklama konusunda faydalı olabilir. Ama bu, temel bir hikâye değildir; yeterince yakından bakıldığında bir sıralama ve sebep-sonuç ilişkisi yoktur, sadece bir anlar kümesi vardır.

Barbour'un kuramının bazı zarif yanları vardır. Kuantum kozmolojisindeki olasılıkların neyi ifade ettiğine ilişkin sorunu güzelce çözer. Yalnızca bir evren vardır ama bu evrende birçok an bulunur. Kuantum olasılıkları, anların gerçeğin bir parçası olarak var olmalarına ilişkin gerçek göreli-sıklık olasılıklarıdır. Ayrıntıya inildiğinde işlediği ölçüde Barbour'un önerisi, doğanın bir tarihe (içinde sebep-sonuç süreçlerinin karmaşık yapıların oluşumuna katkıda bulunduğu bir tarihe) sahip olduğu izleniminin nasıl ortaya çıktığını açıklar. Bu öneri ayrıca zamanın görünürdeki akış yönünü de açıklar: Konfigürasyon uzayında tercih edilen bir yön vardır; bu yön, küçük hacimli konfigürasyonlardan daha büyük hacimli konfigürasyonlara doğru olan yöndür. Zaman ortaya çıktığında, artan hacim ile artan zaman arasında sıkı bir ilişki oluşur, bu da evrende zamanın neden bir yönü olduğunu açıklar.

Barbour'un zaman dışı kuantum kozmolojisi yorumu, ölümlülüğümüz konusunda elle tutulur bir teselli sağlıyor. Bunu hissedebiliyorum. Keşke bir de inanabilseydim. Kendinizi bir grup an içerisinde deneyimliyorsunuz. Barbour'a göre söylenebilecek tek şey bundan ibaret. Bu anlar daima mevcut. Geçmiş kaybolmuyor. Geçmiş, şu an ve gelecek daima bizimle. Sizin deneyiminiz sonlu bir anlar kümesi içinde görünebilir ama bu anlar asla bitmez ya da yok olmaz. Yani hayatınızın son gününe geldiğinizde biten bir şey yoktur. *O sırada,* sahip olacağınız tüm hatıraları içeren bir anı deneyimliyorsunuz, o kadar. Ama ortadan kaybolan bir şey yok, çünkü başlamış olan bir şey de yoktu. Ölüm korkusu aslında bir yanılsamaya dayanıyor, bu yanılsama da düşünsel bir hataya. Zamanın akışının sonu gelmiyor, çünkü zamanın akışı diye bir şey yok. Yalnızca yaşamınızın geçmişte hep var olan ve gelecekte de hep var olacak anları var.

Julian Barbour'un zaman dışı kuantum kozmolojisi hakkında Einstein'ın ne diyeceğini tahmin etmeye çalışmayacağım. Ama blok-evren resminde zamanın kaybolmasının onu oldukça memnun ettiği ve avuttuğu anlaşılıyor. Einstein, gençliğinden beri zaman dışı doğa yasaları üzerine akıl yorarak karmaşık insan dünyasını aşmayı arzuluyordu. Arkadaşı Michele Besso'nun dul kalan eşini teselli etmek için yazdığı bir mektupta şöyle yazmıştı: "O şimdi, bu garip dünyayı benden biraz önce terk etmiş oldu. Bunun ne anlamı var sanki? Bizim gibi fiziğe inanan insanlar geçmiş, şu an ve gelecek arasındaki ayrımın inatçı bir yanılsamadan ibaret olduğunu bilir."

2

IŞIK:

Zamanın Yeniden Doğuşu

PERDE ARASI

Einstein'ın Hoşnutsuzluğu

EINSTEIN'IN GÖRELİLİK KURAMLARINDAKİ blok evren, zamanın fizikten sürülmesindeki son adımdı. Ama Einstein'ın kendisi, zamanın oluşturmak için çok çabaladığı doğa kavramından kaybolması hakkında çelişkili duygular içindeydi. Onun zaman dışı kozmosa yönelik blok-evren resmiyle nasıl teselli bulduğunu gördük. Yine de Einstein'ın bu resmin sonuçlarından çok da hoşnut olmadığı anlaşılıyor. Bunu, Viyanalı filozof Rudolph Carnap'ın, *Entelektüel Otobiyografi*'sinde aktarılan, Carnap ile Einstein arasındaki zamana ilişkin bir sohbetten anlıyoruz:

> Bir seferinde Einstein, "şu an" sorununun kendisini oldukça kaygılandırdığını söyledi. "şu an" deneyiminin insanoğlu için özel bir anlama, özünde geçmişten ve gelecekten farklı bir anlama geldiğini ama bu önemli farkın fizik içerisinde yeri olmadığını ve olamayacağını anlattı. Bilimin bu deneyimi kavrayamamasını üzücü ama kaçınılmaz bir teslimiyet meselesi olarak görüyordu.

Einstein düşünceli olsa da Carnap kendi görüşünden son derece emindi:

Bilimin nesnel olarak meydana gelen her şeyi betimleyebileceğini hatırlattım; bir tarafta zaman içerisindeki olaylar dizisi fizik ile betimlenir; diğer tarafta da insanoğlunun geçmiş, şu an ve geleceğe ilişkin farklı tutumları da dâhil, zaman deneyimindeki tüm tuhaflıklar psikoloji ile betimlenebilir ve (prensipte) açıklanabilir.

Carnap'ın aklından neler geçtiği konusunda en ufak fikrim yok. Psikoloji veya biyoloji bilimleri ile zaman dışı bir evrende zamanı deneyimlememizi nasıl açıklayabiliriz, hiç bilmiyorum.[1] Carnap'ın yazdıklarına göre, verdiği yanıt Einstein'ı da tatmin etmemişti: "Ama Einstein bu bilimsel betimlemelerin insani ihtiyaçlarımızı karşılayamayacağını, şu anın özündeki bir özelliğin bilimin kapsamının hemen dışında kaldığını söyledi."[2]

Einstein'ın hoşnutsuzluğu basit bir hususu kavramış olmasına dayanmaktadır. Bir bilimsel kuram başarılı olacaksa doğaya dair gözlemlerimizi açıklayabilmelidir. Ancak yaptığımız en temel gözlem, doğanın zaman tarafından düzenlendiğini gösterir. Eğer bilim doğada gözlemlediğimiz her şeyi kapsayan ve açıklayan bir hikâye anlatmak zorundaysa doğayı anların bir akışı olarak deneyimlememizi de açıklaması gerekmez mi? Deneyimlerimizin şekillenme biçiminin temelinde yatan gerçek, doğanın temel bir fizik kuramının kapsamına girmesi gereken parçalarından biri değil midir?

Deneyimlediğimiz her şey, tüm düşüncelerimiz, izlenimlerimiz, eylemlerimiz ve amaçlarımız bir anın parçasıdır. Doğa, bize bir anlar dizisi şeklinde sunulur. Bu konuda bir seçim hakkımız yoktur. Şu anda yaşamakta olduğumuz anı seçemeyiz, zaman içerisinde ileri mi, geri mi gideceğimizi seçemeyiz. İleri atlayamayız. Anların akış hızını değiştiremeyiz. Bu açıdan zaman, uzaydan tamamıyla farklıdır. Tüm olayların gerçekleştiği belirli bir yer olduğunu söyleyerek buna itiraz edebilirsiniz. Ama uzayda nereye gideceğimize kendimiz karar verebiliriz. Bu ufak bir fark değildir; aksine, tüm deneyimlerimizi biçimlendirir.

Einstein ile Carnap bir konuda aynı fikirdeydi: doğanın bir şimdiki anlar dizisi şeklinde deneyimlenmesi, fizikçilerin doğa anlayışının bir parçası değildir. Fiziğin geleceği hatta geleceğin fiziği basit bir seçime dayanmaktadır. Bilimde şimdiki anın bir yeri olmadığı konusunda Carnap'a katılacak mıyız, yoksa 20. yüzyılın en büyük bilimsel dehasının önsezisine kulak vererek Einstein'ın, "üzücü teslimiyetine" gerek kalmayacak yeni bir bilim mi arayacağız?

Einstein için şu an gerçektir ve gerçekliğin nesnel betimlemesinde bir şekilde yer alması gerekir. Einstein (Carnap'ın anlattığına göre) "Şu anın özündeki bir özelliğin bilimin kapsamının hemen dışında kaldığına" inanıyordu.

Bu sohbetin üzerinden en azından altmış yıl geçmiştir. O zamandan beri fizik ve kozmoloji hakkında pek çok şey öğrendik. Öğrendiklerimiz, sonunda, "şu anı" fizikçilerin doğa betimlemesine dâhil etmek için yeterlidir. Kitabın bu ikinci kısmında, elimizdeki bilgilerin neden zamanı tekrar fiziğin temel kavramlarından biri haline getirmeyi zorunlu bir hâle getirdiğini açıklayacağım.

I. Kısım'da, Galileo'nun düşen cisimlere ilişkin keşifleriyle başlayıp Julian Barbour'un zaman dışı kuantum kozmolojisiyle sona eren dokuz adımda zamanın, fizikçilerin doğa anlayışından sürülmesini izledik. Birazdan, zamanın yeniden doğuşuna tanık olacağız ama önce I. Kısım'da sıralanan ve oldukça sağlam görünen savları bileşenlerine ayırıp incelememiz gerekiyor.

Bu dokuz sav, üç kategoriye ayrılabilir:

Newtoncu savlar (yani Newton fiziğinden ya da Newton'un fizik yapma paradigmasından doğan savlar)

- Geçmiş gözlem kayıtlarının grafiklerini çıkartarak hareketin dondurulması
- Zaman dışı konfigürasyon uzayının ortaya atılması
- Newton paradigması
- Determinizm savı
- Zamanda tersinirlik

Özel ve genel görelilik kuramlarından kaynaklanan *Einsteincı savlar*:

- Eşzamanlılığın göreliliği
- Uzay-zamanın blok evren resmi
- Zamanın Büyük Patlama ile başlaması

Fiziği bir bütün olarak tüm evreni genişletmekten kaynaklanan *kozmolojik savlar*:

- Kuantum kozmolojisi ve zamanın sonu

Bu dokuz savın bizi götürdüğü doğa görüşü, şimdiki anın gerçekliğini reddeder ve bunun yerine doğadan bahsederken yalnızca bir bütün olarak ele alınan tüm doğa tarihinin gerçek kabul edildiği blok evren resmini kullanır. Bu resimde zaman, uzayın bir boyutu olarak görülür, bu yüzden zaman dışı mantıksal çıkarımlar zamanın içerisindeki sebep-sonuç ilişkisinin yerini alabilir. Genel görelilikte ve Newton mekaniğinde zamanla gelişen tarihlerden bahsedebilir; ne var ki buradaki zaman kavramı yalnızca matematiksel sıra anlamına gelen zayıf bir anlayıştır, şimdiki anların meydana gelişinden soyutlanmıştır. Bu kuramlarda zaman, Önsöz'de "gerçek olan her şey zamandaki bir an içerisinde gerçektir" derken kastettiğim anlamda gerçek değildir. Bu farkı iyice belirgin kılmak için bu tür kuramlardan zaman dışı kuramlar olarak bahsedeceğim.

Bilimin ilerlemesi için ödememiz gereken bedel, zamanın bilimden böyle sürülmesi midir? Yolculuğumuzun bir sonraki adımı, bu savlardaki kusurları göz önüne serecektir.

Bu dokuz savın tümü, ortak bir yanılgı içerisindedir: hepsi, başlangıç koşullarından ve sistemi etkileyen yasalardan faydalanarak herhangi bir sistemin gelecekteki durumunu öngörebileceğimizi varsayan Newton paradigmasının, bir evren kuramı oluşturmak üzere tüm evrene genişletilebileceğini kabul eder. Ama birazdan göstereceğim gibi, Newton paradigmasını geniş-

leterek tüm evren hakkında kabul edilebilir bir kuram elde etmek imkânsızdır. Newton paradigması, kutuda fizik yapmak için kullanıldığında güçlü bir yöntemdir ancak kozmolojik sorularla karşılaştığında yetersiz kalır.

Zamanın ortadan kaldırılmasına yönelik en güçlü savların kaynağı, görelilik kuramıdır. 14. Bölüm'de bu savların ayrıntılarına ineceğiz. Zamanın ortadan kaldırılmasına dair savları bileşenlerine ayırdıktan sonra zamanın gerçek olduğu hipotezinin fiziğe ve kozmolojiye neler kazandırabileceğini inceleyeceğiz.

Kozmolojik Yanılgı

I. KISIM'DA BİR GİZEMCİNİN YOLUNU izleyerek zamana bağlı deneyimimizi aşmaya ve ebedi gerçekleri keşfetmeye çalıştık. Özellikle de fiziğin kazandığı büyük başarıyı, Newton paradigması adlı bir yöntemi kullanmasına borçlu olduğunu öğrendik. Bu başarının bir bedeli olduğunu gördük: bu bedel, zamanın fizikçilerin doğa anlayışından sürülmesiydi.

II. Kısım'da ise bu bedeli ödemek zorunda olmadığımızı göreceğiz. Çünkü Newton paradigmasının tüm evrene uygulanması çabası aslında imkânsız bir girişimdir. Bilimi, evreni bir bütün olarak anlamamızı sağlayacak şekilde genişletebilmek için zamanın gerçekliğini esas alan yeni bir kurama ihtiyacımız var.

Bilimin başlangıcına, ilk bilim insanı olarak anılan Sokrates öncesi filozof Anaksimandros'a dönelim (M. Ö. 610-546). Carlo Rovelli'nin yakın tarihli bir kitabında da anlattığı gibi Anaksimandros, doğa olaylarının nedenlerini tanrıların kaprislerinde değil de doğanın kendisinde arayan ilk insandı.[1]

O günlerde en bilgili insanlar bile kendilerini iki düz ortam arasında sıkışmış bir evrenin sakinleri olarak görüyorlardı. Ayaklarımızın altında çevremizdeki her yönde uzanan Dünya vardı. Başımızın üzerinde ise gökyüzü. Anlayabildikleri ka-

darıyla evrene düzen veren şey özel bir yönün (tüm cisimlerin düştüğü yönün) varlığıydı. Tüm deneyimlerince doğrulanan temel doğa yasası, cisimlerin aşağıya düştüğüydü. Tek istisna gökyüzünün kendisi ile oradaki sabit gök cisimleriydi.

Bu başarılı yasayı tüm evrene (Dünya'ya ve gökyüzüne) genişletmeyi denediklerinde ise bir paradoks ile karşılaştılar: Eğer gökyüzüne sabitlenmiş gök cisimleri dışındaki her şey aşağıya düşüyorsa neden Dünya'nın kendisi düşmüyordu? Düşme eğilimi evrensel olduğuna göre, Dünya onu yerinde tutan bir şeyin üzerinde duruyor olmalıydı. Bu konudaki önerilerden biri, Dünya'nın dev bir kaplumbağanın sırtında durduğunu söylüyordu. Peki, o zaman bu kaplumbağa neyin üzerinde duruyordu? "Aşağıda hep kaplumbağadan" oluşan sonsuz bir yığın olabilir miydi?

Anaksimandros, sonsuz bir kaplumbağalar kulesi gibi gülünç önerilerden kaçınan başarılı bir evren kuramı oluşturmak için kavramsal bir devrimin gerekli olduğunu fark etmişti. Bize bariz görünen ama kendi zamanı için hayret verici bir fikir ortaya attı. "Aşağı" evrensel bir yön değil, yalnızca Dünya'ya doğru olan yöndür. Yasanın doğru ifadesi, "cisimler aşağıya doğru düşer" şeklinde değil, "cisimler Dünya'ya doğru düşer" şeklindedir. Bu değişiklik, başka bir devrimi, Dünya'nın düz değil yuvarlak olduğunun keşfini mümkün kılacaktı. Anaksimandros'un kendisi bu nefes kesici adımı atmamıştır ama "aşağı" kavramını yeniden tanımlaması, Dünya'yı uzayda yüzen bir cisim olarak görmesini sağlamıştır. Bu sayede gökyüzünün Dünya'yı çevrelediği, yani sadece başımızın üzerinde olmakla kalmayıp ayaklarımızın altına da uzandığı şeklindeki şaşırtıcı fikri ileri sürebilmiştir.

Bu anlayış, o dönemin kozmolojisini oldukça basitleştirdi, çünkü artık Güneş, Ay ve yıldızların doğudan doğup batıdan batması gökyüzünün günlük dönüşü ile açıklanabiliyordu. Her sabah Güneş'i doğuda yeniden yaratıp her akşam battıktan sonra yok etmek gerekli değildi; gün batımından sonra Güneş ayaklarımızın altından geçerek başlangıç noktasına dönüyordu. Bunun ilk kez anlaşılması nasıl bir sevinç yaratmıştır, bir düşünün! Eskiden duyulan büyük bir endişe, yani her sabah Güneş'i yeni-

den yaratmaktan sorumlu ruhun uyuya kalması veya işten kaytarması endişesi ortadan kalkmış oluyordu. Anaksimandros'un devrimi belki Kopernik'in devriminden bile önemliydi, çünkü "aşağı" kavramını yeniden tanımlaması, Dünya'yı neyin yerinde tuttuğunu açıklamayı da gereksiz kılıyordu.

Dünya'yı neyin yerinde tuttuğunu anlamaya çalışan filozoflar basit bir hata yapmaktaydı; yerel olarak geçerli bir yasayı alıp bu kanunu tüm evrene uyguluyorlardı. Onların evreni, Dünya ile gökyüzüydü. Bizimki ise gökadalarla dolu engin bir kozmostur ama günümüzün kozmolojik yorumlarındaki karışıklığın büyük kısmı yine aynı hatadan kaynaklanır. Oysa hiçbir şey kulağa bundan daha doğal gelmez: eğer bir yasa evrensel ise neden evren için de geçerli olmasın? Doğanın tüm alt sistemlerine başarıyla uygulanan bir yasa veya ilkeyi alıp tüm evrene uygulama fikri cazibesini bugün de korumaktadır. Bunu yapmak ise *kozmolojik yanılgı* olarak adlandıracağım bir yanılgıya düşmek anlamına gelir.

Evren, tüm parçalarından farklı tipte bir varlıktır. Sadece parçalarının toplamından da ibaret değildir. Fizikte, evrendeki nesnelerin bütün özellikleri, diğer nesnelerle olan ilişkiler veya etkileşimler bağlamında anlaşılır. Ama evren, tüm bu ilişkilerin toplamıdır ve bu nedenle sahip olduğu özellikler, benzer bir başka varlıkla arasındaki ilişkiler aracılığıyla tanımlanamaz.

Dolayısıyla Anaksimandros'un evreninde Dünya, düşmeyen tek şeydir çünkü bütün cisimler ona doğru düşer. Benzer şekilde, kendisi dışındaki bir şey tarafından oluşturulması ya da açıklanması mümkün olmayan tek şey evrenimizdir, çünkü evren tüm nedenlerin toplamıdır.

Eğer günümüz ile eski Yunan bilimi arasında yaptığımız benzetme geçerli ise küçük ölçekli yasaları tüm evrene genişletmekten kaynaklanan paradokslar ve yanıtlanamayan sorular olacaktır. Her ikisiyle de karşılaşıyoruz. Günümüzde, Newton paradigmasına olan inancımız bizi, bu paradigmaya dayanan hiçbir kuramın asla yanıt veremeyeceği iki soruya götürmektedir:

- *Neden bu yasalar?* Neden evreni yöneten belirli bir yasalar grubu bulunmaktadır? Doğayı idare edebilecek diğer yasalar arasından geçerli olanları seçen neydi?
- Evren, Büyük Patlama sırasında belirli bir grup başlangıç koşulu ile yola çıkmıştır. *Neden bu başlangıç koşulları?* Yasaları belirlediğimizde, geriye evren başladığında geçerli olabilecek sonsuz sayıda başlangıç koşulu kalır. Bu sonsuz olasılıklar kümesi içerisinden geçerli başlangıç koşullarını belirleyen hangi mekanizmaydı?

Newton paradigmasının bu iki büyük soruya yanıt vermeye başlaması bile mümkün değildir, çünkü yasalar ve başlangıç koşulları paradigmanın girdileridir. Eğer fizik, son aşamada Newton paradigması kapsamında ifade edilirse bu büyük sorular sonsuza dek gizemlerini koruyacaktır.

Eskiden, *Neden bu kanunlar?* sorusuna nasıl yanıt vereceğimizi bildiğimizi sanıyorduk. Birçok kuramcı, doğadaki dört temel kuvveti (elektromanyetik kuvvet, güçlü ve zayıf nükleer kuvvetler ile kütleçekim kuvveti) kuantum kuramı içerisinde birleştirebilecek matematiksel tutarlılığa sahip yalnızca bir kuram olduğuna inanıyordu. Eğer durum böyle olsaydı, *Neden bu kanunlar?* sorusuna aşağı yukarı bizimkine benzer bir dünyaya sadece olası tek bir fizik yasasının yol açabileceğini söyleyerek yanıt verecektik.

Ama bu umut boşa çıkmıştır. Artık doğa hakkında bildiğimiz her şeyi içeren ve özünde, genel görelilik ile kuantum mekaniğini uzlaştıran benzersiz tek bir kuramın mevcut olmadığını gösteren sağlam kanıtlarımız var. Son otuz yılda birkaç farklı kuantum kütleçekimi yaklaşımında kaydedilen önemli ilerlemeler bizi, şu sonuca götürmektedir: bir kuram ne kadar başarılıysa, bu başarıyı o kadar çok çeşitli yollardan kazanmaktadır. Kuantum kütleçekimine ilişkin üzerinde en iyi çalışılan yaklaşım, halka kuantum kütleçekimidir ve bu kuramın geniş bir yelpazedeki temel parçacıklara ve kuvvetlere izin verdiği anlaşılmaktadır.

Aynı şey yine kütleçekimi ile kuantum kuramını birleştirme sözü veren sicim kuramı için de geçerlidir. Sonsuz sayıda sicim

kuramı bulunduğuna dair kanıtlar vardır; bu kuramların çoğu da geniş bir parametreler kümesine yani istediğimiz değeri alacak şekilde ayarlayabileceğimiz sayılara dayanmaktadır. Tüm bu kuramlar matematiksel açıdan eşit derecede tutarlı görünmektedir. Kuramların büyük kısmı, kabaca bizimkine benzeyen bir yelpazede temel parçacıklara ve kuvvetlere sahip dünyaları betimler. Ancak henüz, Standart Parçacık Fiziği Modeli'ni tam olarak yansıtan bir sicim kuramı oluşturulamamıştır.

Başlangıçtaki umut, sicim kuramının Standart Modeli tam olarak üretebilen ve bu modelin ötesindeki gözlemler için belirli öngörülerde bulunabilen tek bir temel kuram haline geleceği yönündeydi. Andrew Strominger, 1986'da sicim kuramının muazzam sayıda versiyonu olduğunu keşfederek bu umudu çürüttü.[2] Beni, evrendeki yasaların nasıl seçildiği konusunda düşünmeye iten ve sonunda zamanın gerçekliğini benimsememi sağlayan işte bu keşif olmuştur.

Yanıtlanamayan sorulara ilişkin olarak durum böyle. Peki, ya ikilemler?[3] Aslında, sıradan fizik yasası kavramının Newton paradigması kapsamındaki ifadesi özünde büyük bir ikilem barındırır. Bir şeye "yasa" adını verdiğimizde o şeyin birçok örnek için geçerli olduğunu kastederiz; eğer tek bir örnekte geçerli olsaydı adı gözlem olurdu. Ama 4. Bölüm'de de gördüğümüz gibi, bir yasanın evrenin herhangi bir parçasına uygulanması sırasında kaba bir tahmin söz konusudur, çünkü evrenin o parçası ile geri kalanı arasındaki tüm etkileşimleri göz ardı etmemiz gerekir. Bu yüzden, bir yasanın test edebileceğimiz uygulamalarının çoğu kaba tahminlerden ibarettir.

Bir doğa yasasını kaba tahminlere başvurmadan uygulayabilmek için bu yasayı tüm evrene uygulamamız gerekir. Ama yalnızca tek bir evren vardır ve tek bir örnek bize belirli bir doğa yasasının geçerli olduğu iddiasını doğrulamaya yetecek delilleri sunamaz. Buna, kozmolojik ikilem denilebilir.

Kozmolojik ikilem, genel görelilik veya Newton'un hareket yasaları gibi doğa yasalarını, evrenin alt sistemlerine uygulamamıza engel değildir. Bu yasalar hemen her örnekte işe yaramak-

tadır. Bu yüzden onlara yasa diyoruz. Ama yasaların bu şekilde uygulanması, evrenin bir alt sistemine her şey o sistemden ibaretmiş gibi davranmaya dayanan kaba bir tahmindir.[4] Böyle yapmak, evren tarihinin genel göreliliğe benzer bir yasanın çözümlerinden biri olduğunu, evrendeki maddenin de Standart Model tarafından betimlendiğini düşünmemize engel değildir. Ama neden yalnızca o çözümün doğada hayata geçirilmek üzere seçildiğini açıklayamazlar. Tek bir çözüm, mevcut doğa yasalarının genel görelilik ile Standart Model'in bir bileşiminden oluştuğunu da kanıtlamaz, çünkü bu tek çözüm birçok farklı yasaya ilişkin çözümleri yaklaşık olarak verebilir.[5]

Bir yasanın basit bir gözlemden ayrılabilmesi için neden birden fazla durumda test edilebilmesi gerektiğini bir örnekle açıklayalım. Bir ailenin tek çocuğu olan Mira, dondurmayı çok seviyor. En sevdiği dondurma da çikolatalı dondurma. Gerçekten de ilk tadına baktığı dondurma çikolatalıydı, o zamandan beri de çikolatalı dondurmayı tercih ediyor.

Mira'nın annesi ve babası, tüm çocukların dondurmayı sevdiğini söyleyen genel bir yasanın olduğuna inanıyor. Ama başka bir çocuk gözlemleyemedikleri için bu inançlarını test edemiyorlar; bu yasayı, Mira'nın dondurma sevdiği şeklindeki gözlemlerinden ayırt etmeleri mümkün değil. Mira'nın babası tüm çocukların çikolatalı dondurmayı tercih ettiğini söyleyen başka bir yasa daha olduğuna inanıyor. Mira yattıktan sonra bir kadeh içki içerek dinlenirlerken, Mira'nın annesi başka bir hipotez ortaya atıyor: Tüm çocuklar tattıkları ilk dondurmayı tercih eder.

İki olasılık da ellerindeki kanıtlarla uyumlu. İkisi de çocuk parkındaki ebeveynlere sorular sorarak test edilebilecek öngörülerde bulunuyor, dolayısıyla ikisi de olası birer yasadır. Ama Mira'dan başka bir çocuk olmadığını farz edelim. Bu durumda, ebeveynlerin hipotezlerinin genel birer yasa mı yoksa sadece birer gözlem mi olduğunu saptamak imkânsızdır.

Mira'nın ebeveynleri, insan biyolojisine dayanarak, çocukların şeker ve sütten yapılan her şeyi seveceğini iddia edebilir ve bu sav öngörülerinden en az birini doğrular. İddiaları doğrudur

ama yaptıkları akıl yürütme birçok insanın incelenmesiyle elde edilen bilgilere dayanmaktadır. İşte benzetme bu noktada çöker, çünkü kozmolojide elimizde gerçekten de tek bir örnek var. Bilimsel bir sav kapsamında evreni daha genel bir sınıfın tek bir örneği olarak kabul edemeyiz çünkü bu sınıfın niteliklerine dair hiçbir iddiayı test edemeyiz.

Kozmolojik ikilemin merkezinde, alt sistemler için geçerli olan yasaların yaklaşık olması zorunluluğu yatar; bu yüzden dondurmayı bir kenara bırakıp bu konuda fizikten basit bir örnek verelim. Newton'un birinci hareket yasası tüm serbest parçacıkların düz doğrular boyunca hareket ettiğini söyler. Bu, sayısız örnekle test edilmiş ve doğrulanmıştır. Ama her test, bir kaba tahminde bulunmayı gerektirir, çünkü hiçbir parçacık tam anlamıyla serbest değildir. Evrenimizdeki her parçacık, diğer her parçacığın kütleçekim kuvvetini hisseder. Eğer yasayı tam olarak test etmek isteseydik, yasanın tam olarak geçerli olduğu hiçbir örnek bulamazdık.

Newton'un birinci yasası, en iyi ihtimalle daha kesin bir başka yasanın yaklaşık hâli olabilir. Aslında bu yasa, bir parçacığın hareketlerinin parçacık üzerindeki kuvvetlerden nasıl etkilendiğini betimleyen Newton'un ikinci yasasının yaklaşık hâlidir. İşte bu çok ilginç bir nokta! Evrendeki her parçacık diğerlerinin kütleçekimsel etkisi altındadır. Aynı zamanda elektrik yükü taşıyan tüm parçacık çiftleri arasında da kuvvetler bulunur. Yani dikkate alınması gereken bir sürü kuvvet var. Newton'un ikinci yasasının tam olarak geçerli olup olmadığını test etmek istiyorsanız, evrendeki parçacıklardan yalnızca birinin hareketini öngörebilmek için 10^{80}'den fazla kuvveti toplamanız gerekir.

Elbette, uygulamada böyle bir şey yapmayız. Yakındaki cisimlerce uygulanan bir ya da birkaç kuvveti dikkate alıp diğerlerini göz ardı ederiz. Örneğin, kütleçekimi söz konusu olduğunda, çok uzaktaki cisimlerin uyguladığı kuvvetleri ihmal edebiliriz, çünkü bunların etkileri daha zayıftır. (Bu aslında göründüğü kadar bariz bir adım değildir, çünkü uzaktaki parçacıklardan kaynaklanan kuvvetler zayıf olsa da bu parçacıkların sayısı

yakındaki parçacıklardan çok daha fazladır.) Her hâlükârda hiç kimse ikinci yasanın *tam olarak* geçerli olup olmadığını test etmeye kalkmaz. Yalnızca bu yasaya ilişkin uç noktalardaki yaklaşık sonuçları kontrol ederiz.

Newton'un "yasa" kavramını tüm evrene genişletmekten kaynaklanan bir başka sorun da evrenin yalnızca bir tane, başlangıç koşulu seçeneklerinin ise sonsuz olmasıdır. Bu farklı başlangıç koşulları, sözde kozmolojik yasanın denklemlerinin sonsuz çözüme sahip olduğu anlamına gelir. Bu çözümler sonsuz bir olası evrenler kümesini betimler. Ama gerçekte tek bir evren vardır.

Bir yasanın sonsuz olası tarihi betimleyen sonsuz olası çözümünün bulunması bizi, bu yasanın aslında doğada sayısız farklı biçimde ortaya çıkan evrenin alt sistemleri için geçerli olduğu sonucuna varmaya zorlar. Çözümlerdeki bolluk, doğadaki bolluğu yansıtır. Dolayısıyla bir yasayı evrenin küçük bir alt sistemine uyguladığımızda, başlangıç koşullarını belirleme serbestisi yasanın başarısı için vazgeçilmez bir unsurdur.

Aynı şekilde, sonsuz sayıda çözüme sahip bir yasayı benzeri olmayan tek bir sisteme, örneğin, evrene uyguladığımızda birçok şeyi açıklamadan bırakmış oluruz. Başlangıç koşullarını seçme serbestisi yarardan çok zarar getirmeye başlar, çünkü bu durum, (ilgili yasada ifadesini bulan) kuramın tek bir evrene ilişkin birçok temel soruyu yanıtsız bıraktığı anlamına gelir. Evrenin başlangıç koşullarına bağlı tüm özellikleri de bu sorular arasındadır.

Peki, sözde kozmolojik yasanın diğer çözümlerini oluşturan ama evrenin izlemediği diğer tarihleri ne yapacağız? Aralarından en çok bir tanesi ile doğa arasında ilişki kurabileceğimiz sonsuz sayıda çözüm yaratan bu savurganlık niye?

Tüm bu düşünceler bir sonuca işaret etmektedir: Kozmolojik ölçekte, bir doğa yasasının nasıl olması gerektiği konusunda yanılmaktayız. Bunun üç nedeni var:

(1) Bir kanunun kozmolojik ölçekte geçerli olduğu iddiası, var olmayan örneklere, yani diğer evrenlere ilişkin öngörüler hakkında devasa boyutta bilgi gerektirir. Bu,

evrenin bir yasadan çok daha zayıf bir şeyle açıklanabileceğini düşündürür. Hiçbir zaman gerçekleşmeyen sonsuz sayıda örnek hakkında öngörüde bulunacak kadar savurgan bir açıklamaya ihtiyacımız yok. Yalnızca kendi tek evrenimizde olup bitenlere ilişkin bir açıklama yeterli olacaktır.

(2) Olağan türden yasalar, neden evrenimizi betimleyen çözümü deneyimlediğimizi açıklayamaz.

(3) Yasa, kendisi için bir açıklama getiremez. Neden başka bir yasanın değil de kendisinin geçerli olduğuna dair bir gerekçe sunmaz.

Demek ki klasik bir doğa yasası evren için uygulandığında aynı anda hem çok fazla şeyi hem de çok az şeyi açıklamaktadır.

Bu ikilemlerden ve paradokslardan kurtulmanın tek yolu, Newton paradigmasını aşan yeni bir metodoloji (evren ölçeğindeki fizik için geçerli yeni bir paradigma) aramak olacaktır. Fiziğin mantıksızlık ve gizemcilik içerisinde sona ermesini istemiyorsak, şimdiye kadar kazandığı başarıların temelini oluşturan yöntem değiştirilmelidir.

Ama I. Kısım'da anlatılan zamanın fizikten sürülmesine yönelik savların tümü, Newton paradigmasının tüm evrene genişletilebileceği varsayımına dayanmaktaydı. Eğer bu imkânsızsa zamanın ortadan kaldırılmasına yönelik o savlar da çöker. Newton paradigmasını terk edeceksek o savları da terk etmemiz gerekir ve bu durumda zamanın gerçek olduğuna inanmak mümkün hâle gelir.

Zamanın gerçekliğini benimsersek doğru bir kozmolojik kuram geliştirme konusunda daha başarılı olabilir miyiz? Sonraki bölümlerde bu sorunun yanıtının neden evet olduğunu açıklayacağım.

Kozmolojik Meydan Okuma

20. YÜZYIL FİZİĞİNİN BÜYÜK kuramları (görelilik, kuantum kuramı ve Standart Model) fizik biliminin en büyük başarılarını temsil eder. Bu kuramlar, deney sonuçlarıyla ilgili birçok durumda yüksek hassasiyet ile doğrulanmış kesin öngörülerde bulunan, son derece güzel matematiksel ifadelere sahiptir. Ama yine de az önce bu kuramlara benzer hiçbir kuramın temel bir kuram olarak işe yaramayacağını iddia ettim. Söz konusu kuramların başarısı dikkate alındığında, bu cüretkâr bir iddiadır.

İddiamı desteklemek için mevcut bütün fizik kuramlarınca paylaşılan ve söz konusu kuramların tüm evrene genişletilmelerini zorlaştıran bir özellikten bahsedebilirim: Bu kuramların her biri doğayı iki parçaya böler; bunlardan biri zaman içerisinde değişir, diğerinin ise sabit ve değişmez olduğu varsayılır. Birinci parça incelenen sistemdir; sistemin serbestlik dereceleri zamanla değişir. İkinci parça ise evrenin geri kalanıdır; buna arka plan diyebiliriz.

İkinci parça açıkça betimlenmeyebilir ama varlığı, birinci parçada betimlenen harekete anlam kazandıran terimlerde gizlidir. Bir uzaklık ölçümünde, ölçümü yapmak için gereken sabit noktalara ve cetvellere gizli bir atıf vardır; ölçülen bir süre ise sistemin dışındaki bir saatin zamanı ölçtüğüne işaret eder.

3. Bölüm'deki top yakalama oyununda gördüğümüz gibi, topun konumu Danny'nin durduğu yere yapılan atıfla anlam kazanır. Hareket, sabit bir hızla tıkladığı varsayılan bir saat ile tanımlanır. Hem Danny hem de saat konfigürasyon uzayı tarafından betimlenen sistemin dışındadır ve durağan oldukları kabul edilir. Bu sabit referans noktaları olmadan, kuramın öngörüleri ile deneyin kayıtları arasında nasıl bir bağ kuracağımızı bilemeyiz.

Doğanın böyle biri dinamik biri de durağan iki parçaya ayrılması bir kurgudur ama evrenin küçük kısımlarını betimleme konusunda son derece faydalıdır. Durağan olduğu kabul edilen ikinci kısım, aslında analiz edilen sistemin dışarısındaki diğer dinamik varlıklardan oluşmaktadır. Onların dinamiğini ve gelişimini göz ardı etmek suretiyle basit yasalar keşfetmemize imkân veren bir çerçeve yaratırız.

Genel görelilik dışındaki çoğu kuramda, sabit arka plan uzay ve zamanın geometrisini de kapsar. Ayrıca seçilen yasalar da bu arka plan içerisindedir, çünkü onların da değişmez olduğu kabul edilir. Dinamik bir geometri betimleyen genel görelilik kuramı bile, uzayın topolojisi ve boyutları gibi başka sabit yapılar olduğunu varsayar.[1]

Doğayı böyle dinamik bir kısım ile bu kısmı çevreleyen ve onu betimlerken kullandığımız terimleri tanımlayan bir arka plan şeklinde ikiye ayırması, Newton paradigmasının dâhiyane özelliklerinden biri olmakla birlikte paradigmayı tüm evren için uygulanamaz hale getiren de yine bu ayrımdır.

Bilimi, tüm evrene ilişkin bir kuram oluşturmak üzere genişletirken karşılaştığımız zorluk, durağan bir parçanın mümkün olmamasından kaynaklanır, çünkü evrendeki her şey değişir ve evrenin dışında da geri kalanın hareketini ölçmekte arka plan olarak kullanabileceğimiz hiçbir şey yoktur. Bu engeli aşmak için bir yol bulma çabalarına *kozmolojik meydan okuma* adı verilebilir.

Kozmolojik meydan okuma, tüm evrene anlamlı bir biçimde uygulanabilecek bir kuram oluşturmamızı gerektirir. Bu kuram dâhilinde, her dinamik aktör yalnızca diğer dinamik aktörler bağlamında tanımlanmalıdır. Böyle bir kuramda, sabit bir ar-

ka plana yer olmadığı gibi gerek de yoktur; bu tür kuramlara arka plandan bağımsız kuramlar diyoruz.[2]

Artık kozmolojik ikilemin, Newton paradigmasının yapısından kaynaklandığını görebiliriz. Bu paradigmanın, sabit arka planlara bağımlı olması ve tek bir yasanın sonsuz sayıda çözümünün olması dâhil, küçük ölçeklerde başarı kazanmasını sağlayan özellikleri paradigmanın kozmolojik bir kurama temel oluşturmadaki başarısızlığına neden olur.

Fiziğin kazandığı başarıların, kozmolojiyi bilimsel bir yaklaşımla ele almaya yönelik ilk girişimlere yol açtığı bir dönemde yaşadığımız için şanslıyız. Kozmolojik ikileme verilecek yanıtlardan biri olarak evrenimizin devasa bir evrenler koleksiyonu içerisinde yer aldığının öne sürülmesi şaşırtıcı değildir, zira tüm kuramlarımız yalnızca çok daha büyük bir sistemin parçalarına uygulanabilmektedir. En azından ben, çeşitli çoklu evren senaryolarının çekiciliğini bu şekilde anlıyorum.



Laboratuvarda bir deney yaptığımızda başlangıç koşulları bizim kontrolümüzdedir. Yasalara ilişkin hipotezleri test etmek için bu koşullarda değişiklikler yaparız. Ama kozmolojik gözlemler söz konusu olduğunda, başlangıç koşulları erken evrende belirlenmiştir; bu yüzden o koşulların ne olduğuna dair hipotezler geliştirmek zorundayız. Dolayısıyla kozmolojik bir gözlemin sonucunu Newton paradigmasını kullanarak açıklayabilmek için *iki* hipotez ortaya atarız: Başlangıç koşullarının neler olduğuna ilişkin bir hipotez *ve* o koşullar üzerinde etki eden yasalara ilişkin başka bir hipotez. Bu süreç bizi, başlangıç koşulları üzerindeki kontrolümüzü kullanarak yasalara dair hipotezleri test ettiğimiz kutuda fizik şartlarından çok daha zor şartlara sokar.

Hem yasalara hem de başlangıç koşullarına dair hipotezleri aynı anda test etme zorunluluğu, her ikisini de test edebilme becerimizi ciddi biçimde zayıflatır. Gözlemlerle uyuşmayan bir öngörüde bulunursak kuramı iki şekilde düzeltebiliriz: Yasalara

ilişkin hipotezlerimizi değiştirebiliriz ya da başlangıç koşullarına ilişkin hipotezlerimizi değiştirebiliriz. Her ikisi de deneyin sonuçlarını etkileyebilir.

Bu noktada yeni bir sorunla karşılaşırız: hangi hipotezi düzeltmemiz gerektiğini nereden bileceğiz? Eğer gözlem bir yıldız ya da bir gökada gibi evrenin küçük bir kısmı hakkında ise yasaya ilişkin testlerimizi birçok örneği analiz ederek yaparız. Bu örneklerin hepsi aynı yasaya tâbidir yani aralarındaki farkların başlangıç koşullarındaki farklardan kaynaklandığı varsayılmalıdır. Ama evren söz konusu olduğunda, bir yasaya ilişkin hipotezi değiştirmenin yarattığı etkileri başlangıç koşullarına ilişkin hipotezi değiştirmenin yarattığı etkilerden ayırt edemeyiz.

Kozmolojik araştırmalarda bu sorun ile zaman zaman karşılaşılır. Erken evren hakkındaki kuramların test edilmesinde kullanılan önemli kıstaslardan biri de bu kuramların kozmik mikrodalga fon ışımasında (KMF) görülen örüntüleri açıklayıp açıklayamadıklarıdır. KMF, erken evrenden arta kalan bir ışımadır; bize Büyük Patlama'dan yaklaşık 400 bin yıl sonraki koşulların bir fotoğrafını sunar. Üzerinde çok çalışılmış önerilerden biri, evrenin tarihinin çok erken dönemlerinde muazzam ve hızlı bir genişleme yaşadığını öne süren kozmolojik şişme modelidir. Bu şişme, evrenin başlangıçta sahip olduğu özellikleri esneterek zayıflatmış ve şu anda gözlemlediğimiz büyük ve nispeten tekdüze evrene yol açmıştır. Şişme, aynı zamanda KMF'de gözlemlenenlere çok benzer örüntüler bulunması gerektiğini öngörür.

Birkaç yıl önce gözlemciler, mikrodalga fon ışımasında şişme kuramı tarafından öngörülmeyen yeni bir özellik keşfetti: KMF, Gauss dağılımına uymuyordu.[3] (Gauss dağılımına uymamanın ne anlama geldiği önemli değil; bu hikâyede bilmemiz gereken tek şey bunun KMF'de gözlemlemiş olabileceğimiz, ancak standart şişme kuramının öngörmediği bir örüntü olduğu.) Bu yeni gözlemi iki şekilde açıklayabiliriz: Kuramı değiştirebiliriz ya da başlangıç koşullarını değiştirebiliriz.

Şişme kuramı, Newton paradigması kapsamındadır, yani öngörüleri yasaların etki ettiği başlangıç koşullarına bağlıdır.

KMF'nin, Gauss dağılımına uymadığına ilişkin kanıtları sunan ilk makaleden birkaç gün sonra gözlemi açıklamaya çalışan başka makaleler kaleme alındı. Bunlardan bazıları yasaları, diğerleri ise başlangıç koşullarını değiştiriyordu. Her iki strateji de öne sürülen gözlemleri açıklamayı başardı. Aslında iki stratejinin de başarılı olacağı zaten biliniyordu.[4] Gözlemsel bilimlerdeki son gelişmelerde sıklıkla görüldüğü üzere daha sonra yapılan gözlemler ilk iddiayı desteklemedi. Bu satırlar yazıldığı sırada KMF'nin, Gauss dağılımına uyup uymadığını hâlâ bilmiyoruz.[5]

Yukarıda anlatılanlar, bir kuramı verilere uygun hâle getirmek için iki farklı yolun bulunduğu durumlara bir örnektir. Yasaların ve başlangıç koşullarının bazı değişkenlerle açıklandığını kabul edersek, gözlemlenen verilere iki farklı değişken uyum sağlayabilir. Gözlemciler, bu gibi durumlara *yozlaşma* adını verir. Genellikle yozlaşma ile karşılaştığımızda, uyum biçimlerinden hangisinin doğru olduğunu belirlemek için ilave gözlemler yaparız. Ama yalnızca bir kez meydana gelmiş bir olayın kalıntısı olan KMF gibi örnekler söz konusu olduğunda, yozlaşmayı çözüme kavuşturmak asla mümkün olmayabilir. Özellikle KMF ölçümlerimizin sınırlı oluşu dikkate alındığında, yasaları değiştirmeye dayanan bir açıklama ile başlangıç koşullarını değiştirmeye dayanan bir açıklamayı birbirinden ayıramayabiliriz.[6] Fakat yasaların rolü ile başlangıç koşullarının rolünü birbirinden ayıramadığımızda Newton paradigması, fiziksel olguların nedenlerini açıklama gücünü yitirir.



Newton'un çağından yakın tarihe kadar fiziğe yön veren beklentileri tersine çevirmeye hazırız. Daha önce Newton mekaniği veya kuantum mekaniği gibi kuramları, başarılı olmaları durumunda, doğayı mükemmel bir şekilde yansıtacak temel kuram adayları olarak görüyorduk; doğa hakkında doğru olan her şey kuramda da doğru bir matematiksel gerçeğin yansıması olacaktı. Newton paradigmasının zaman dışı bir konfigürasyon uza-

yı üzerinde etki eden zaman dışı yasalara dayanan yapısının, bu yansıma için şart olduğu düşünülüyordu. Ben ise bu hevesin, paradigmayı tüm evren için uygulamaya kalktığımız an yukarıda bahsettiğimiz ikilemler ve karmaşalarla karşılaşmamızı kaçınılmaz kılan metafizik bir fantezi olduğunu iddia ediyorum. Bu görüş, Newton paradigması kapsamındaki kuramların durumunu yeniden değerlendirmemizi gerektirir. Bunu, temel kuram adaylarından evrenin küçük alt sistemleri hakkındaki yaklaşık betimlemelere kadar bütün kuramlar için yapmamız gerekir. Fizikçiler tarafından zaten gerçekleştirilen bu yeniden değerlendirme, birbiriyle ilişkili iki bakış açısı değişikliğinden oluşur:

(1) Parçacık Fiziğinin Standart Modeli ve genel görelilik de dâhil olmak üzere kullandığımız tüm kuramlar yaklaşık kuramlardır ve evrendeki serbestlik derecelerinin yalnızca bir kısmını içeren doğa kesitleri için geçerlidirler. Böyle bir yaklaşık kurama *efektif kuram* deriz.
(2) Doğa kesitleri içeren tüm deney ve gözlemlerimizde, yalnızca küçük bir grup serbestlik derecesine ait değerleri kaydeder, diğerlerini göz ardı ederiz. Sonuçta elde ettiğimiz kayıtlar, efektif kuramların öngörüleri ile karşılaştırılır.

Dolayısıyla fiziğin günümüze kadar kazandığı başarı, tamamen efektif kuramlar ile modellenmiş doğa kesitlerinin incelenmesine dayanır. Deneysel düzeyde fizik yapma sanatı, birkaç serbestlik derecesini yalıtıp incelerken, evrenin geri kalanını göz ardı etmeye imkân veren deneyler tasarlamaya ilişkindir. Kuramcılar, deneycilerin incelediği doğa kesitlerini modelleyen efektif kuramlar bulmayı hedefler. Fizik tarihi boyunca hiçbir zaman, gerçekten bir temel kuram adayının, yani efektif bir kuram olarak anlaşılması mümkün olmayan bir kuramın öngörülerini deneylerle karşılaştırabilmiş değiliz.

Bu hususları biraz daha açıklamama izin verin:

Deneysel fizik, doğa kesitlerinin incelenmesidir.

Evrenin bir alt sistemi geri kalan her şey göz ardı edilerek sanki evrendeki tek şeymiş gibi modellendiğinde, bu sisteme *yalıtılmış sistem* adı verilir. Ama bütünden ayırarak yalıtma işleminin asla tam olarak yapılamayacağı unutulmamalıdır. Daha önce belirttiğimiz gibi, gerçek dünyada daima tanımladığımız herhangi bir alt sistem ve onun dışında kalan şeyler arasında etkileşimler olur. Evrenin alt sistemleri, şu ya da bu ölçüde, daima fizikçilerin *açık sistem* dediği sistemlerdendir. Bunlar, sınırları olan ancak bu sınırların ötesindeki şeylerle etkileşime giren sistemlerdir. Yani kutuda fizik yaptığımızda, aslında yalıtılmış bir sistemi, açık bir sistemin yaklaşığı olarak kullanıyoruz.

Deneysel fizik zanaatının büyük kısmı, açık sistemleri (yaklaşık olarak) yalıtılmış sistemlere dönüştürmekten oluşur. Bunu asla mükemmel bir şekilde yapamayız. Birincisi, sistem üzerinde yaptığımız ölçümler sisteme müdahale eder. (Bu durum, kuantum mekaniğinin yorumlanmasında önemli bir sorundur; ama şimdilik büyük ölçekli dünyada kalalım.) Her deney, kusurlu biçimde yalıtılmış sisteminizin dışından kaynaklanan kaçınılmaz parazitler içerisinden istediğiniz verileri ayıklamaya çalıştığınız bir savaştır. Deneyciler, kendilerini ve meslektaşlarını parazitlerden ayırt edilebilen gerçek bir sinyal gördüklerine inandırmak için büyük çaba sarf eder ve bu parazitlerin etkilerini azaltmak için ellerinde geleni yapar.

Dış titreşimlerin, alanların ve ışımanın deneylerimizi kirletmemesi için kalkanlar kullanırız. Çoğu deney için bu yeterlidir, ancak bazı deneyler o kadar hassastır ki detektörlere çarpan kozmik ışınların yarattığı parazitten etkilenirler. Bir laboratuvarı kozmik ışınlardan sağlıklı bir şekilde yalıtabilmek için yerin birkaç kilometre altındaki bir madende inşa edebilirsiniz; Güneş'ten gelen nötrinoları böyle saptıyoruz. Bu yöntem, diğer ışıma kaynaklarının ortaya çıkardığı arka plandaki rastgele meydana gelen parazitleri baş edebileceğimiz seviyeye düşürürken nötrinoların geçmesine izin verir. Ama uygulamada, bir laboratuvarı nötrinolar-

dan yalıtmak imkânsızdır. Güney Kutbu'nda buzun derinliklerine gömülmüş nötrino detektörleri, Kuzey Kutbu'ndan girerek tüm Dünya'nın içinden geçen nötrinoları kaydedebilir.

Nötrinolardan kurtulmak için devasa kalınlıkta, yoğun kurşundan duvarlar inşa etseniz bile yine de engelleyemeyeceğiniz bir şey vardır, o da kütleçekimidir. Uygulamada, hiçbir şey kütleçekimi kuvvetini engelleyemez veya kütleçekimi dalgalarının yayılmasını durduramaz; dolayısıyla hiçbir şey mükemmel biçimde yalıtılamaz. Bu önemli noktayı doktora çalışmalarım sırasında keşfetmiştim. Kütleçekimi dalgalarını duvarları arasında yansıtan bir kutu modellemeye çalışıyordum ama kütleçekimi dalgaları kolayca duvarların içinden geçtiği için modellerim başarısız oluyordu. Kütleçekimi dalgalarını yansıtacak duruma gelene kadar duvarların yoğunluğunu artırmayı düşündüm ama model, duvarlardaki maddenin o noktaya ulaşamadan önce çökerek kara deliklere dönüşeceğini gösterdi. Bir süre bu sorunla cebelleşip ondan kaçınmak için çeşitli yollar denedikten sonra fark ettim ki aşamadığım engel, aslında yapmaya çalıştığım keşiften çok daha ilginçti. Biraz daha düşününce, yalnızca birkaç varsayımı doğru kabul ederek hiçbir duvarın kütleçekimi dalgalarına engel olamayacağını kanıtlamayı başardım.[7] Duvar, hangi malzemeden, hangi kalınlıkta ya da yoğunlukta inşa edilmiş olursa olsun kütleçekimi dalgalarını engelleyemez. Bu sonuca varmak için yalnızca genel görelilik yasalarının doğru olduğunu, maddenin içerdiği enerjinin pozitif olduğunu ve sesin, ışıktan hızlı hareket edemeyeceğini varsaymam yeterli olmuştu.

Bu, doğada (yalnızca uygulamada değil, ilkesel olarak da) evrenin geri kalanının etkisinden tamamen yalıtılmış bir sistemin var olamayacağı anlamına gelir. Bu sonuç, bir ilke haline getirilmeyi hak eder; söz konusu ilkeye *yalıtılmış sistemlerin yokluğu ilkesi* adını vereceğim.

Yalıtılmış bir sistem şeklinde modellenen bir açık sistemin daima yaklaşık bir sistem olmasının bir nedeni daha vardır: rastlantısal yıkıcı olayları öngöremeyiz. Parazitleri ölçülebilir, öngörebilir ve üstesinden gelebiliriz. Ama dış dünya, sistemimizi

yalıtma çabalarımıza bundan çok daha kötüsünü de yapabilir. Laboratuvarımızın bulunduğu binaya bir uçak düşebilir ya da bina bir depremde yıkılabilir. Dünya'ya bir asteroid çarpabilir. Güneş sisteminden geçen bir karanlık madde bulutu Dünya'nın yörüngesini bozarak Güneş'e düşmemize neden olabilir.[8] Ya da belki biri bodrumdaki düğmeye basıp laboratuvarın elektriğini kesebilir. Bu büyük evrenimizde sürmekte olan bir deneyi bozabilecek olayların listesi aslında sonsuzdur. Bir deneyi yalıtılmış bir sistem biçiminde modellediğimizde, aslında bu tür olasılıkların hepsini modelimizin dışında bırakmış oluyoruz.

Dış dünyadan laboratuvarımıza müdahale edebilecek her şeyi dikkate alabilmek için tüm evreni modellememiz gerekir. Tüm bu olasılıkları modellerimiz ve hesaplamalarımızdan dışlamadan fizik yapamayız. Ama bunları dışlamak da uygulamada, kaba tahminlere dayalı fizik yapmak anlamına gelir.

Efektif ama yaklaşık kuramlar.

Belli başlı tüm fizik kuramları, deneyciler tarafından üretilen doğa kesitlerinin modelleridir. Ortaya atıldıkları dönemde birer temel kuram olarak görülmüş olabilirler ama zaman içerisinde kuramcılar bunların aslında sınırlı sayıda serbestlik derecesine ilişkin efektif betimlemeler olduğunun farkına varmıştır.

Parçacık fiziği, efektif kuramların rolüne dair iyi bir örnektir. Şimdiye kadar yapılan deneyler, temel fiziği ancak belirli bir uzunluk ölçeğine kadar inceleyebilmiştir. Günümüzde bu ölçek santimetrenin yaklaşık 10^{17}'de biridir ve CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda bu ölçekte araştırmalar yapılmaktadır. Demek oluyor ki şu ana dek yapılan tüm deneylerle uyumlu olan Parçacık Fiziğindeki Standart Model'in, kütleçekimi hakkında hiçbir şey söylemeyen bir model olduğunun kabul edilmesinin yanı sıra yaklaşık bir model olduğu da kabul edilmelidir. Standart Model, çok daha kısa mesafeleri inceleyebilmemiz durumunda karşılaşabileceğimiz, henüz bilinmeyen olguları göz ardı etmektedir.

Kuantum fiziğinde, uzunluk ölçeği ile enerji arasında belirsizlik ilkesinden kaynaklanan ters orantılı bir ilişki bulunur. Belirli bir uzunluk ölçeğini inceleyebilmek için en azından belirli bir enerjiye sahip parçacıklara ya da ışımaya ihtiyacımız vardır. Daha kısa mesafelere inebilmek için daha yüksek enerjili parçacıklar gerekir. Yani ulaştığımız uzunluk ölçeklerinin alt sınırı, gözlemlediğimiz süreçlerin enerjilerindeki üst sınıra bağlıdır. Ama enerji ile kütle (özel görelilik kuramı uyarınca) aynı şeydir; demek ki yalnızca belirli bir enerji ölçeğine kadar inceleme yaptıysak, şimdiye dek çarpıştırıcı deneylerimizde ortaya çıkamayacak kadar büyük kütleli parçacıklardan haberimiz olmayabilir. Bu eksik olgular yalnızca yeni temel parçacık türlerini değil, daha önce bilinmeyen kuvvetleri de kapsayabilir. Belki de temel kuantum mekaniğinin ilkelerinin yanlış olduğu ve daha kısa uzunluklar ile daha yüksek enerjilerde gizli olguları doğru bir şekilde betimleyebilmek için bu ilkelerde bazı değişiklikler yapmak gerektiği ortaya çıkabilir.

Bu gibi kaygılar nedeniyle Standart Model'in deneylerle uyumlu ama sadece belirli bir alanda güven veren, efektif bir kuram olduğunu söyleriz.

Efektif kuram kavramı, basitlik ve güzellik doğrunun işaretidir diyen klişe sözler gibi iyi bilinen bazı görüşleri altüst eder. Daha yüksek enerjilerde nelerin gizlenmiş olabileceğini bilmediğimizden fizikteki birçok hipotez, kendi alanının sınırları ötesinde şu ya da bu efektif kuram ile tutarlıdır. Yani bu efektif kuramlar kendine özgü bir basitliğe sahiptir, çünkü mümkün olduğunca zarif ve basit bir biçimde bilinmeyen alanlara genişletilebilmeleri gerekir. Genel görelilik ile Standart Model'in efektif birer kuram olduklarının anlaşılması, bu kuramların sahip olduğu zarafeti büyük oranda açıklamaktadır. Güzellikleri, efektif ve yaklaşık olmalarının bir sonucudur. Bu durumda, basitlik ve güzellik doğru olduklarının değil, kısıtlı bir alana ilişkin iyi oluşturulmuş yaklaşık bir model olduklarının işaretidir[9].

Efektif kuram kavramı, temel parçacık kuramına ilişkin çalışmaların olgunlaşmasını temsil etmektedir. Genç ve romantik ol-

duğumuz dönemde, doğanın temel yasalarının avcumuzun içinde olduğunu sanıyorduk. Standart Model üzerinde yıllarca çalıştıktan sonra artık bu modelin test edildiği sınırlı alan içerisinde doğru olduğundan emin olmakla birlikte, söz konusu modelin bu alanın dışına genişletilebileceğinden o kadar da emin değiliz. Hayat da böyle değil midir? Yaşlandıkça gerçekten bildiğimiz konularda kendimize güvenimiz artar ama aynı zamanda bilmediğimiz konulara ilişkin cehaletimizi kabul etmek de kolaylaşır.

Bu durum, düş kırıcı gibi görünebilir. Fiziğin amacının, doğanın temel yasalarını keşfetmek olduğunu öğrenmiştik. Tanımları gereği, efektif kuramların yaptığı bu değildir. Bilime ilişkin çok saf bir bakış açısına sahipseniz, şimdiye kadar yapılmış tüm deneylerle uyumlu bir kuramın gerçeğe ancak yaklaşabilen bir model olarak görülmesini tuhaf bulabilirsiniz. Efektif kuram kavramı işte bu ince ayrımı ifade ettiği için önemlidir.

Ayrıca efektif kuram kavramı temel parçacık fiziğinde ilerlemeden ne anladığımızı da ortaya koyar. Bize, fiziğin giderek daha iyi yaklaşık kuramlar oluşturma süreci olduğunu söyler. Daha kısa mesafeleri ve daha büyük enerjileri inceleyen deneyler geliştirdikçe yeni olgular keşfedebiliriz ve bu durumda yaptığımız yeni keşifleri de kapsayan yeni bir modele ihtiyaç duyarız. Bu da Standart Model gibi efektif bir kuram olur ama daha geniş bir alanda geçerlidir.

Efektif kuram kavramı bize, fizikteki ilerlemenin, doğaya ilişkin anlayışımızın kavramsal temellerini tamamen değiştiren, ancak daha önceki kuramların başarılarını da koruyan devrimler aracılığıyla gerçekleştiğini gösterir. Newton fiziği, ışık hızından çok daha düşük hızların söz konusu olduğu ve kuantum etkilerinin göz ardı edilebildiği bir alanda geçerli efektif bir kuram olarak görülebilir. O alan dâhilinde, her zamanki başarısını sürdürmektedir.

Genel görelilik kuramı, bir zamanlar doğanın temel betimlemesi olmaya aday kabul edilen ama artık efektif bir kuram olduğu anlaşılan kuramlara bir başka örnektir. Öncelikle kuantum olaylarının görüldüğü alanını kapsamaz. Genel görelilik, en iyimser görüşle doğaya dair birleşik bir kuantum kuramının ka-

ba bir tahminidir ve daha temel olan bu kuramın bir kesitinin alınmasıyla türetilebilir.

Kuantum mekaniği de muhtemelen daha temel bir kuramın kaba bir tahmininden ibarettir. Bu yöndeki işaretlerden biri, içerdiği denklemlerin lineer olmasıdır. Yani sonuçlar daima sebeplerle doğru orantılıdır. Fizikte, lineer bir denklemin kullanıldığı diğer tüm örneklerde, kuramın daha temel (ama yine de efektif), lineer olmayan (sonuçların sebeplerinin kuvveti ile orantılı olabileceği) bir kuramın kaba bir tahmini olarak ortaya çıktığı bilinmektedir; büyük ihtimalle aynı şey kuantum mekaniği için de geçerli olacaktır.

Gerçek şu ki şimdiye kadar fizikte kullanmış olduğumuz tüm kuramlar efektif kuramdır. Kazandıkları başarının aynı zamanda söz konusu kuramların kaba bir tahminden ibaret olduklarının ortaya çıkmasına da yol açmış olması üzücüdür.

Hâlâ yaklaşık kuramlara gerek duymadan doğayı betimleyen temel bir kuram bulma arzusunu taşıyor olabiliriz. Mantık da tarih de bize, Newton paradigmasının sınırları içerisinde kaldığımız sürece bunun imkânsız olduğunu söyler. Bu nedenle her ne kadar takdire değer olsalar da Newton fiziği, genel görelilik, kuantum mekaniği ve Standart Model, temel bir kozmolojik kuramın şablonu olamazlar. Böyle bir kurama giden tek yol, kozmolojik meydan okumayı başlatmak ve kaba tahminlere gerek duymadan tüm evrene uygulanabilecek, Newton paradigmasını örnek almayan bir kuram oluşturmaktır.

Yeni Bir Kozmolojinin İlkeleri

ŞİMDİ GERÇEKTEN TÜM EVRENİ kapsayacak kuramı arayışımıza başlayabiliriz. Böyle bir kuram, kozmolojik ikilemden kaçınmalı ve arka plandan bağımsız olmalıdır. Yani söz konusu kuram dünyayı biri dinamik değişkenleri, diğeri de değişen parçalara anlam verecek arka planı oluşturan sabit yapıları içeren iki kısma ayırmamalıdır. Kuram tarafından gerçekliğin bir parçası olduğu öne sürülen her şey gerçekliğin geri kalanı ile arasında olan ilişkiyle tanımlanmalı ve bu tanım söz konusu parçanın değişime tâbi olmasını sağlamalıdır.

Gerçek bir kozmolojik kuramda hangi özellikleri görmek isteriz?

- *Yeni kuram, doğa hakkında zaten bildiğimiz şeyleri içermelidir.* Dikkatimizi evrenden daha küçük mesafe ve zaman ölçeklerine odakladığımızda, mevcut kuramların (Parçacık Fiziğinin Standart Modeli, genel görelilik ve kuantum mekaniği) bu bilinmeyen kozmolojik kuramın yaklaşık modelleri olarak ortaya çıkması gerekir.
- *Yeni kuram, bilimsel olmalıdır.* Hakiki açıklamalar, birçok beklenmedik sonuca yol açarak geçerliliklerini ka-

nıtlar. Sırf iyi bir hikâye olsun diye bir şeyler uyduramayız. Gerçek bir kuram, test edilebilir belirli öngörülerde bulunmalıdır.

- *Yeni kuram, "Neden bu yasalar?" sorusuna yanıt vermelidir.* Standart Model'de betimlenen temel parçacıkların ve kuvvetlerin nasıl ve neden seçildiğini kavramamızı sağlamalıdır. Özellikle de evrenimizdeki temel sabitlerin (Standart Model'de belirlenen, temel parçacıklarının kütleleri ile çeşitli kuvvetlerin büyüklükleri gibi parametrelerin) sahip olduğu özel ve inanılmaz değerleri açıklayabilmelidir.
- *Yeni kuram, "Neden bu başlangıç koşulları?" sorusunu yanıtlamalı,* neden evrenimizin aynı yasalarla betimlenebilecek olası evrenlere kıyasla garip görünen özelliklere sahip olduğunu açıklamalıdır.

Bu sayılanlar asgari şartlardır. Tüm evren hakkındaki bir kuramdan bahsettiğimiz düşünülürse, fiziğin –Kepler, Galileo, Newton, Leibniz, Ernst Mach ve Einstein gibi doğaya dair kuramlar bulmaya çabalayan büyük dehaların yazılarında ifadesini bulan– ortak aklı, birkaç şart daha getirebileceğimizi söyler.[1] Bu bilgelerin bize öğrettiklerine ilişkin yorumum şu:

Böyle bir kuramın evrenimizin özellikleri hakkında getirdiği açıklamalar yalnızca evren içerisinde var olan veya gerçekleşen şeylere dayanmalıdır. Hiçbir açıklama zinciri evrenin dışına işaret edemez. Demek ki bir *açıklayıcı kapalılık ilkesine* ihtiyacımız var.

Bilimsel olması için bir kuramın aklınıza gelebilecek her soruya kesin bir yanıt vermesi gerekli değildir ama söz konusu kuramı kullanarak evrene ilişkin daha fazla ayrıntıyı bilmemiz durumunda yanıtlayabileceğimize inandığımız çok sayıda soru olmalıdır. Leibniz'in *yeterli neden ilkesi,* evrenin belirli bir özelliğe neden sahip olduğu şeklindeki tüm makul soruların bir yanıtı olması gerektiğini öne sürer. Yeni bir bilimsel kuramın geçmesi gereken önemli testlerden biri, yanıtlayabildiğimiz soruların sayısını artırıp artırmadığıdır. Evrenin daha önceki kuramlar tara-

fından açıklanmayan yönlerine ilişkin yeni açıklamalar keşfettiğimizde ilerleme kaydetmiş oluruz.

Leibniz'in ilkesinin, kozmolojik bir kurama sınırlamalar getirecek bazı sonuçları vardır. Bunlardan biri, evrende diğer şeyleri etkileyen ancak kendisi etkilenmeyen hiçbir şeyin olmaması gerektiğidir. Tüm etkileşmeler veya kuvvetler karşılıklı olmalıdır. Buna, *karşılıksız eylemin yokluğu ilkesi* diyebiliriz. Einstein, Newton'un kütleçekim kuramının yerine genel göreliliği koyarken gerekçe olarak bu ilkeden yararlanmıştır. Vurguladığı husus şuydu: Newton'un kuramına göre mutlak uzay cisimlere nasıl hareket edeceklerini söyler ama bunun bir karşılığı yoktur; yani evrendeki cisimler mutlak uzayı etkilemez. Mutlak uzay sadece vardır, o kadar. Einstein'ın genel görelilik kuramında ise madde ile geometri arasındaki ilişki karşılıklıdır: Geometri, maddeye nasıl hareket edeceğini söyler, buna karşılık olarak madde de uzay-zamanın eğriliğini etkiler. Ayrıca Newton'un kuramında mutlak zamanının akışını etkileyebilecek hiçbir şey de yoktur. Newton, evren boş da olsa, maddeyle dolu da olsa zamanın aynı şekilde akacağını varsayar. Genel görelilikte ise maddenin varlığı saatlerin davranışlarını etkiler.

Öyleyse bahsettiğimiz ilke, sabit arka plan yapılarına yani maddenin hareketi ne olursa olsun özellikleri her zaman aynı kalan varlıklara atıfta bulunmayı yasaklar.

Bu arka plan yapıları, fiziğin bilinçaltıdır; sessizce düşüncelerimizi şekillendirerek doğayı anlamak için kullandığımız temel kavramları etkilerler. "Konum" sözcüğünün anlamını bildiğimizi düşünüyoruz, çünkü bilinçdışı bir şekilde mutlak bir referans noktasının bulunduğunu varsayıyoruz. Fiziğin evrimindeki temel adımların çoğu, sabit bir arka plan yapısının varlığını fark etmemiz, bu yapıyı ortadan kaldırmamız ve onun yerine evren içinden dinamik bir neden koymamız sayesinde atılmıştır. Ernst Mach, kendi etrafımızda dönerken mutlak uzaya göre değil, evrendeki maddeye göre hareket ettiğimiz için başımızın döndüğünü söyleyerek Newton'a karşı çıktığında işte bunu yapmıştı.

Karşılıklı eylem konusunda ısrar eder ve sabit arka plan yapılarını reddedersek, evrendeki tüm varlıkların dinamik bir biçimde, tüm diğer şeylerle etkileşim içerisinde geliştiğini söylemiş oluruz. Bu, genellikle Leibniz'e atfedilen ilişkisellik felsefesinin özüdür (3. Bölüm'de "konum" sözcüğünün tanımına ilişkin yaptığımız tartışmayı hatırlayın). Söz konusu fikri daha da genişleterek kozmolojik bir kuramda tüm özelliklerin dinamik varlıklar arasındaki gelişen ilişkileri yansıtması gerektiğini söyleyebiliriz.

Ama eğer bir cismin özellikleri (onu tanımamızı ve diğer cisimlerden ayırt etmemizi sağlayan özellikleri) o cisim ile diğer cisimler arasındaki ilişkiler ise evrenin geri kalanıyla aynı ilişkilere sahip iki cisim olamaz. Evrendeki diğer her şeyle aynı ilişkiye sahip iki cisim, aslında aynı şey olmalıdır. Bu, Leibniz'in *ayırt edilemeyenlerin özdeşliği* adı verilen bir başka ilkesidir. Bu ilke de yine yeterli neden ilkesinden kaynaklanan bir sonuçtur, çünkü doğanın geri kalanıyla aynı ilişkilere sahip iki farklı varlık varsa bu varlıkların farklı olmalarını gerektiren ve birbirlerinin yerine geçmelerini engelleyen bir neden yoktur. Bu iki varlık aynı olmalıdır, bunun aksi bir durum doğada makul bir açıklaması olmayan bir olgu bulunduğu anlamına gelecektir.

Dolayısıyla doğada temel simetriler olamaz. Bir simetri, fiziksel bir sistemin parçalarının yerlerini değiştirirken fiziksel olarak gözlenebilir niceliklerinin tümünü aynı bırakan bir tür dönüşümdür.[2] Newton fiziğindeki simetrilere örnek olarak, bir alt sistemin uzayda bir yerden başka bir yere ötelenmesi gösterilebilir. Fizik yasaları, bir sistemin uzayda nerede bulunduğuna bağlı olmadığından, laboratuvarın ve deneyin sonucunu etkileyebilecek her şeyin iki metre sola taşınması öngörüleri değiştirmeyecektir. Deney sonuçlarının uzaydaki konumdan bağımsız olduğunu belirtmek için sistemlerin uzayda yer değiştirmesi altında fizik değişmezdir, deriz.

Simetriler bildiğimiz tüm fizik kuramlarında yaygındır. Fizikçilerin alet kutusundaki en yararlı araçlardan birkaçı simetrilerin varlığından yararlanır. Ama yine de eğer Leibniz'in ilkeleri doğruysa bu simetriler temel olmamalıdır.

Simetriler, evrenin alt sistemlerinden birine var olan her şey sadece bu sistemden ibaretmiş gibi davranmaktan kaynaklanır. Yalnızca evrenin geri kalanıyla laboratuvarımızdaki atomlar arasında yer alan etkileşimleri göz ardı ettiğimiz için laboratuvarın uzaydaki yerini değiştirmemiz bir fark yaratmaz. Aynı şey incelediğimiz alt sistemi döndürmenin neden bir fark yaratmadığını da açıklar. Döndürme bir fark yaratmaz, çünkü o alt sistem ile evrenin geri kalanı arasındaki etkileşimleri göz ardı ederiz. Eğer bu etkileşimleri de dikkate alsaydık alt sistemin döndürülmesi kesinlikle bir fark yaratırdı.

Peki, ya evrenin kendisi ötelenir ya da döndürülürse? Bu da bir simetri değil midir? Hayır değildir, çünkü evrenin içerisindeki göreli konumların hiçbirinde bir değişiklik olmamıştır. İlişkisel açıdan bakıldığında, evreni ötelemek ya da döndürmek herhangi bir anlam taşımaz. Bu durumda, öteleme ya da döndürme gibi simetriler temel değildir; önceki bölümde anlatıldığı gibi doğanın iki parçaya bölünmesinden kaynaklanırlar. Bunlar ve diğer simetriler, yalnızca evrenin alt sistemleri için geçerli olan yaklaşık yasalara ait özelliklerdir.

Söylediklerimizin baş döndürücü bir sonucu vardır: Eğer söz konusu simetriler yaklaşıksa o zaman enerjinin, momentumun ve açısal momentumun korunumu yasaları da yaklaşık olmalıdır. Bu ana korunum yasaları, uzay ve zamanın zamanda öteleme, uzayda öteleme ve döndürme altında simetrik olduğu varsayımına dayanır. Simetriler ile korunum yasaları arasındaki bağlantı, matematikçi Emmy Noether tarafından 20. yüzyılın başlarında kanıtlanan temel bir teoremin içeriğini oluşturur.[3] Noether'in akıl yürütme biçimini burada açıklamayacağım ama teoremi fiziğin temel taşlarından biridir ve daha iyi tanınmayı hak etmektedir.

Öyleyse bilinmeyen kozmolojik kuramda simetrilere de korunum yasalarına da yer yoktur.[4] Standart Model'in başarısından etkilenen bazı parçacık fizikçileri, bir kuram ne kadar temelse söz konusu kuramın da o kadar fazla simetriye sahip olması gerektiğini söyler. Oysa alınması gereken ders bunun tam tersidir.[5]

✧✦✧

Şimdi bilinmeyen kozmolojik kuram hakkındaki en önemli soruya geliyoruz: Bu kuram, zamanın yapısı hakkında neler söyleyecek? Einstein'ın genel görelilik kuramında olduğu gibi zaman ortadan kalkacak mı? Barbour'un kuantum kozmolojisindeki gibi kaybolup yalnızca ihtiyaç olduğunda mı ortaya çıkacak? Yoksa zaman, Newton'dan bu yana oluşturulan tüm kuramların aksine, önemli bir rol mü oynayacak?

Ben, zamanın *Neden bu yasalar?* sorusuna yanıt veren her kuram için gerekli olduğuna inanıyorum. Yasaların açıklanabilmeleri için gelişmeleri gerekir. Bu iddiayı, Giriş kısmında da alıntıladığım Charles Sanders Peirce ortaya atmıştı. Öne sürdüğü savı çözümleyebilmek için o alıntıya tekrar bakalım. Peirce, "Evrensel doğa yasalarının akıl tarafından kavranabileceğini, ancak bu yasaların aldıkları özel biçimlerin herhangi bir nedeni olmadığını, açıklanamaz ve mantık dışı olduklarını düşünmek, kolay kolay savunulabilecek bir görüş değildir" diyerek başlar.

Bunu, Leibniz'in yeterli neden ilkesinin bir ifadesi olarak algılayabiliriz. Neden başka yasalar yerine keşfettiğimiz doğa yasalarının geçerli olduğunu açıklayabilmeliyiz. Peirce, bu hususu aşağıdaki iki cümle ile yeniden vurgular: "Yeknesaklıklar tam da açıklanması gereken tipteki olgulardandır... Yasalar, bir nedeni olması gereken şeylerin başında gelir."

Bu cümleler, *Neden bu yasalar?* sorusunun bir ifadesidir. Doğaya ilişkin olgular açıklanmalıdır ve en çok açıklama gerektiren olgulardan biri, neden evrenimizde belirli yasaların geçerli olduğudur.

Peirce, daha sonra "doğa yasalarını ve genel olarak da yeknesaklığı açıklayabilmenin tek olası yolu, bunların gelişimin bir sonucu olduğunu kabul etmektir" der. Bu, iddialı bir ifadedir. Peirce, yasaların gelişmesi gerektiği sonucuna nasıl vardığını açıklamaz; yalnızca bunun, *Neden bu yasalar?* sorusunun "tek olası" çözümü olduğunu iddia eder. Vardığı bu sonucu ciltler tutan

yazıları ve defterlerinden birinde açıkladı mı bilmiyorum. Ama aşağıdaki gibi bir açıklama yapılabilir.

Görevimiz, bir nesnenin (bu örnekte evrenin) neden belirli bir özelliğe sahip olduğunu açıklamaktır: yani temel parçacık ve kuvvetlerin, neden Parçacık Fiziğinin Standart Modeli'nde betimlenen süreçler aracılığıyla etkileşime girdiğini açıklamayı amaçlıyoruz. Bu, zor bir sorundur çünkü Standart Model'in, kendine özgü parametreleriyle birlikte devasa sayıdaki doğa yasası seçeneklerinden yalnızca biri olduğunu biliyoruz. Öyleyse bir varlığın muazzam bir olası alternatifler grubu içerisinden belirli bir özelliğe sahip olmasını nasıl açıklayabiliriz?

Birçok alternatif olduğuna göre, tam olarak hangi yasaları gördüğümüzü belirleyen bir ilke yoktur. Eğer seçimin zorunlu bir nedeni yoksa mantıksal bir zorunluluk teşkil etmeyen bir nedeni olmalıdır. Seçimin farklı bir şekilde yapıldığı durumlar olabilir ya da olmuştur. Bu seçimin bizim evrenimizde nasıl yapıldığını açıklayabilir miyiz?

Eğer gerçekten tek bir örnek varsa hiçbir zaman yeterli bir açıklama olmayacaktır, çünkü tek örnek olması, seçimin nasıl yapılacağını belirleyen mantıksal bir ilke olmadığı anlamına gelir. Yeterli bir açıklama yapabilmek için başlangıçta yasaların oluştuğu başka evrenler de olmalıdır. Yani doğa yasalarını seçen Büyük Patlama benzeri birden fazla olay gerçekleşmiş olmalıdır. (Basitlik açısından yasaların, Büyük Patlama gibi büyük olaylar sırasında seçildiğini varsayıyoruz; elimizde doğa yasalarının o zamandan beri değiştiğini gösteren bir kanıt yok.)

Bu noktada sorulması gereken soru, Büyük Patlamaların, yani yasaların seçildiği olayların nasıl meydana geldiğidir. Şimdi evrenin açıklayıcı ve nedensel açılardan kapalı olması gerektiğini söyleyen ilkeye başvurabiliriz. Yani evrendeki herhangi bir şeyi açıklamak için gereken tüm sebep-sonuç zincirlerinin de evrenin içinde bulunduğunu varsayarız. Efektif yasaların Büyük Patlama'da nasıl seçildiğini açıklamak istiyorsak, yalnızca Büyük Patlama'nın geçmişindeki olaylara başvurabiliriz. Aynı mantığı, bizimkinden önceki Büyük Patlamalarda yapılan yasa

seçimlerinin nedenleri için de uygulayabiliriz. Dolayısıyla geçmişte sürgit uzanan bir Büyük Patlamalar dizisi olmalıdır. Birçok Büyük Patlama öncesine gidip, keyfi bir başlangıç noktası belirleyelim ve yasa seçimlerini geleceğe doğru takip edelim. Şimdiki evrenimize yaklaştıkça kanunların geliştiğini göreceğiz. Böylece, Peirce gibi biz de yasaları açıklamayı istiyorsak o yasaların gelişmesinin şart olduğu sonucuna ulaşıyoruz.[6]

Patlamalar tamamen ardışık olabilir ya da (geçmişte, gelecekte ya da her iki yönde) dallara ayrılabilir. Bir dallanma olup olmadığı ve bu olaylarda doğa yasalarını tam olarak nasıl bir sürecin değiştirdiği konularında farklı hipotezler geliştirebiliriz. Her durumda, en son gerçekleşen Büyük Patlama'daki yasaların seçimini, yalnızca o Büyük Patlama'nın nedensel geçmişindeki olaylar bağlamında açıklıyor olacağız. Bu tür bir senaryonun deneysel olarak kontrol edilmesi de mümkün olabilir; Büyük Patlamamızdan önceki olaylar, evrenimizin doğumundan kalan enkazda (öyle bir enkaz var ise) arta kalan bilgiler sayesinde gözlenebilir. 11. ve 18. Bölümlerde, doğa yasalarının Büyük Patlamamızdan önce gelişmesini mümkün kılan kuramların öngörülerinden örnekler vereceğiz.

Ancak eğer Büyük Patlama'nın bir geçmişi yoksa yasalar ile başlangıç koşullarının seçimi keyfidir ve yukarıdakine benzer testler yapmak imkânsızdır. Büyük Patlamaları ile bizimki arasında sebep-sonuç ilişkisi olmayan muazzam ya da sonsuz sayıdaki evrenleri konu alan senaryoların test edilmesi de mümkün değildir. Bilimsel bir kozmolojide *paralel evrenler*, yani bizimki ile arasında sebep-sonuç ilişkisi bulunmayan evrenler bulunduğunu varsaymak, kendi evrenimizin herhangi bir özelliğini açıklamakta bize yardımcı olamaz. Vardığımız sonuç şudur: ancak yasalar zamanla gelişiyorsa çürütülebilir öngörülerde bulunabilen bilimsel bir kozmolojik kuram oluşturabiliriz. (Bir kuramın öngörülerinin yapılabilir bir deney ile çelişmesi mümkünse bu öngörüler çürütülebilir demektir).

Roberto Mangabeira Unger, bunu daha zarif bir şekilde ifade eder.[7] Zaman ya gerçektir ya da değil. Eğer zaman gerçek değil-

se, yasalar zaman dışıdır ama bu durumda, daha önce tartıştığımız nedenlerden ötürü yasaların seçimi açıklanamaz. Öte yandan, eğer zaman gerçekse, yasalar da dâhil hiçbir şey sonsuza kadar süremez. Eğer doğa yasaları sonsuza kadar etki ediyorsa, Newton paradigması içerisindeyiz demektir. O yasaları kullanarak doğanın daha sonraki bir zamanda sahip olacağı herhangi bir özelliği, daha önceki zamanda sahip olduğu bir özelliğe bağlayabilirsiniz. Ya da başka bir ifadeyle herhangi bir fiziksel sebep-sonuç ilişkisinin yerine mantıksal çıkarımları koyabilirsiniz. Öyleyse zamanın gerçek olması, yasaların sonsuza kadar süremeyeceği anlamına gelir. Yasalar gelişmeli, bir tür evrim geçirmelidirler.

Zaman dışı yasa kavramı, evrendeki hiçbir şeyin bir etkiye maruz kalmadan etkide bulunmayacağını söyleyen ilişkisel ilkeyi de ihlâl eder. Eğer doğa yasalarını bu ilkeden muaf tutup evrenin dışında bir şey olarak kabul ederseniz, yasaları akılcı açıklamaların dışında bırakmış olursunuz. Yasaları açıklayabilmek için onları da etkiledikleri parçacıklar gibi doğanın bir parçası olarak görmemiz gerekir. Bu bakış açısı, yasaları değişimin ve sebep-sonuç ilişkilerinin etki alanına sokar. Yalnızca doğayı bir bütün haline getiren değişim ve karşılıklı etkileşim dansına katılmaları durumunda yasaları açıklamak mümkün olur.

Henüz elimizde kozmolojik bir kuram yok ancak eğer önerdiğim ilkeler geçerliyse, bu kuram hakkında şimdiden bir şeyler biliyoruz:

- Doğa hakkında zaten bildiğimiz şeyleri kaba bir tahmin olarak içermelidir.
- Bilimsel olmalıdır; yani yapılabilir deneylerle test edilebilir öngörülerde bulunmalıdır.
- *Neden bu yasalar?* sorununu çözmelidir.
- Başlangıç koşulları sorununu çözmelidir.
- Ne simetriler ne de korunum yasaları içermelidir.
- Sebep-sonuç ilişkileri ve açıklayıcı bakımdan kapalı olmalıdır. Evrenin içindeki herhangi bir şeyi açıklamak

için evren dışından bir şey gerekli olmamalıdır.

- Yeterli neden ilkesini, karşılıksız eylemin yokluğu ilkesini ve ayırt edilemeyenlerin özdeşliği ilkesini karşılamalıdır.
- Sahip olduğu fiziksel değişkenler, dinamik varlıklar arasında gelişen ilişkileri betimlemelidir. Sabit doğa yasaları da dâhil olmak üzere, sabit arka plan yapılarına yer vermemelidir. Dolayısıyla doğa yasaları gelişir, bu da zamanın gerçek olduğuna işaret eder.

Bu ilkeler iyi güzel ama ihtiyacımız olan şey bizi test edilebilir öngörülerde bulunan kuramlara götürecek hipotezlerdir. Sonraki birkaç bölümde, bu ilkeleri hayata geçiren bazı hipotez ve kuram örnekleri vereceğim ve ilkelerin gerçekten de test edilebilir hipotezlere yol açtığını göreceğiz.

Yasaların Evrimi

II. KISIM'IN ŞİMDİYE KADARKİ ana mesaj şudur: kozmolojinin ilerleyebilmesi için fizik, yasalarının zaman dışı ve ebedi olduğu fikrinden vazgeçilmeli ve bunun yerine gerçek zaman içinde evrimleştikleri fikri benimsenmelidir. Yapılabilir deneylerle test edilebilir, hatta çürütülebilir bir kozmolojik kurama (yasaların ve başlangıç koşullarının nasıl seçildiğini açıklayan bir kurama) ulaşmak istiyorsak, bu dönüşüm şarttır. Bu yaklaşımın gerekçelerini ilkesel olarak ortaya koyduktan sonra (umarım bunu yapabilmişimdir), bu bölümde de biri zaman dışı yasalara diğeri evrimleşen yasalara sahip iki kuramın gözlem sonuçlarını açıklama ve öngörme becerilerini karşılaştırarak bu yaklaşımı örneklerle anlatmaya çalışacağım.

Yasaların evrimleştiği kuram, *kozmolojik doğal seçilim* adıyla bilinir, tarafımdan 1980'lerin sonunda geliştirilmiş ve 1992'de yayımlanmıştır.[1] O makalede, aradan geçen yirmi yılda çürütülmesi mümkün olmasına karşın henüz çürütülemeyen birkaç öngörüde bulunmuştum. Bu, elbette kuramın doğru olduğunu kanıtlamaz ama en azından evrimleşen yasalara sahip bir kuramın, içinde yaşadığımız doğanın gerçekten sahip olduğu özellikleri açıklayıp öngörebileceğini göstermiş oldum.

Zaman dışı kuramlara örnek olarak, 1980'lerde Alexander Vilenkin ile Andrei Linde tarafından önerilen ve o tarihten beri

üzerinde geniş çalışmalar yapılan bir çoklu evren senaryosu olan *sonsuz şişmeyi* ele alacağım.[2] Sonsuz şişme, bazı hipotezlerinin ayarlanabilir olması nedeniyle farklı biçimlerde karşımıza çıkar. Konuyu vurgulamak amacıyla zaman dışı bir çoklu evren resmi sunduğu için "sonsuz" sıfatına çok iyi uyan basit bir biçimi seçtim. Zamanın daha temel bir rol oynadığı başka şişen çoklu evren versiyonları da bulunur ve hakiki bir evrimleşen yasa kavramına sahip olmaları halinde, bunların da kozmolojik doğal seçilimin bazı yönlerini paylaştığı söylenebilir.

Evrimleşen yasalara sahip kozmolojik senaryoların başarılı bir şekilde gerçek öngörülerde bulunabilmelerinin nedenlerinden biri, çoklu evreni gözlemlediğimiz evrene bağlamak için -ancak yasaları ve başlangıç koşulları yaşama uygun bir ortamı mümkün kılan bir evrende yaşayabileceğimizi söyleyen- *insancı ilkeye* dayanmıyor olmalarıdır. Bu bölümün amaçlarından biri, insancı ilkenin kuramların öngörüde bulunmasını sağlama konusunda rol oynayabileceğine yönelik iddiayı çürütmektir.

Kozmolojik doğal seçilim, ilk kitabım *Evrenin Yaşamı*'nın konusuydu. Bu nedenle söz konusu kuramı betimlerken sadece yasaların zamanla evrimleşmesinin nasıl bu yasalara ilişkin çürütülebilir açıklamalara yol açtığını gösterecek kadar ayrıntıya gireceğim.[3]

Kozmolojik doğal seçilimin ana hipotezi, evrenlerin kara delikler içerisinde yeni evrenler yaratarak çoğaldığıdır. Dolayısıyla bizim evrenimiz de bir başka evrenin bir kara delikten doğan yavrusudur ve evrenimizdeki her kara delik yeni bir evrenin tohumudur. Bu, doğal seçilim ilkelerini uygulayabileceğimiz bir senaryodur.

Kullandığım doğal seçilim mekanizması, popülasyon biyolojisi yöntemlerine dayanmaktadır. Söz konusu yöntemler, bir sistemi yöneten bazı parametreleri, o sistemi normalde olacağından daha karmaşık bir hale getirecek şekilde nasıl seçebileceğimizi açıklamakta kullanılır. Bir sistemin karmaşıklığını doğal seçilimi uygulayarak açıklamak için şunlar gereklidir:

- *Bir popülasyon içerisinde çeşitlilik gösteren bir parametre uzayı.* Biyolojide, bu parametreler genlerdir. Fizikte ise parametreler, çeşitli temel parçacıkların kütleleri ve temel kuvvetlerin büyüklüklerini de içeren Standart Model'deki sabitlerden oluşurlar. Bu parametreler, doğa yasaları için bir tür konfigürasyon uzayı oluşturur. Bu uzaya (genlerden oluşan uzaya *uyumluluk sahası* adını veren popülasyon biyolojisinden esinlenerek) *kuramlar sahası* adı verilir.
- *Bir çoğalma mekanizması.* Doktora sonrası danışmanım olan Bryce DeWitt tarafından bana önerilen, kara deliklerin yeni evrenlerin doğumuna yol açtığı şeklindeki eski bir fikri benimsedim. Söz konusu fikir, kuantum kütleçekiminin zamanın başladığı ve sona erdiği tekillikleri ortadan kaldırdığını söyleyen hipotezin bir sonucudur. Bu hipotezi destekleyen sağlam kuramsal deliller vardır. Evrenimizde çok sayıda, en az bir milyar kere milyar tane kara delik vardır; bu da evrenin yavrularının çok yüksek bir nüfusu olduğuna işaret eder. Evrenimizin kendisinin de geçmişin derinliklerine uzanan bir soy ağacının parçası olduğu kabul edebiliriz.
- Çeşitlilik. Doğal seçilim, kısmen, üreme sırasında genler rastgele mutasyona ya da rekombinasyona uğradığı için işler. Bu sayede yavruların genomları, her iki ebeveynden de farklı olur. Benzer biçimde, her yeni evren yaratıldığında yasa parametrelerinde küçük bir rastlantısal değişim oluştuğunu varsayabiliriz. Dolayısıyla saha üzerinde o evrendeki parametrelerin değerlerine karşılık gelen noktayı işaretleyebiliriz. Sonuç, saha üzerinde işaretlenmiş, çoklu evrendeki kanunların parametrelerinde görülen çeşitliliği temsil eden, devasa ve giderek büyüyen bir noktalar koleksiyonudur.
- *Uyumluluk farkları.* Popülasyon biyolojisinde, bir bireyin uyumluluk seviyesi, üreme başarısının, yani kendisi de yavrulayacak kadar yaşayan kaç yavru yapabildi-

ğinin bir ölçütüdür. Bu durumda bir evrenin uyumluluk seviyesi, kaç tane kara delik doğurabildiği ile ölçülür. Kara delik sayısı ile parametreler arasında hassas bir bağlantı olduğu anlaşılmaktadır. Bir kara delik oluşturmak kolay değildir; dolayısıyla çoğu parametre, hiç kara delik oluşturmayan evrenlere yol açar. Birkaç parametre ise birçok kara delik oluşturan evrenlere neden olur. Bu evrenler, parametre uzayının çok küçük bir kısmını kaplar. Parametre uzayındaki bu üretken alanların, çok daha düşük üretkenlikte alanlar ile çevrili adalara benzediğini kabul edeceğiz.

- *Sıradanlık.* Ayrıca kendi evrenimizin birçok nesil geçtikten sonra karşılaşılan evren popülasyonunun sıradan bir üyesi olduğunu varsayıyoruz. Bu sayede çoğu evren tarafından paylaşılan özelliklerin bizim evrenimizde de bulunduğunu öngörebiliriz.[4]

Doğal seçilim bir yöntem olarak o kadar güçlüdür ki az sayıdaki bu varsayımlara dayanarak önemli sonuçlara varabiliriz. Sonuçta, birçok nesil sonra çoğu evrendeki parametreler yüksek üretkenlikteki bölgelerde yer alacaktır. Bu nedenle sıradan bir evrenin parametrelerini değiştirirsek sonuçta muhtemelen çok daha az sayıda kara delik üreten bir evren elde ederiz. Evrenimiz sıradan bir evren olduğundan, bu durum bizim evrenimiz için de geçerli olmalıdır.

Bu öngörüyü dolaylı olarak test edebiliriz. Standart Model'deki parametreler üzerinde yapılan birçok değişikliğin, karbon ve oksijen üretimi için gereken uzun ömürlü yıldızları barındırmayan evrenlerle sonuçlandığını zaten biliyoruz. Ayrıca kara delikleri meydana getiren büyük kütleli yıldızları oluşturan gaz bulutlarını soğutmak için karbon ve oksijenin gerekli olması da dikkat çekicidir. Parametrelerdeki diğer değişiklikler ise sadece kara delikleri meydana getirmekle kalmayıp yıldızlararası uzaya, bulutların çökmesini sağlayarak büyük kütleli yeni yıldızların oluşmasını sağlayan enerjiyi de salan süpernovaların gücünü

zayıflatır. Şimdiden, Standart Model'deki parametreleri daha az sayıda kara delik üreten evrenlere yol açacak şekilde hafifçe değiştirmenin en az sekiz yolunu biliyoruz.[5]

Dolayısıyla kozmolojik doğal seçilim, Standart Model'deki parametrelerin neden evrenimize bahşedilen kimyasal karmaşıklık için gerekli karbon, oksijen ve diğer elementleri zamanla evrene yayan uzun ömürlü yıldızlarla dolu bir evren oluşturacak biçimde ayarlanmış olduğu konusuna gerçek bir açıklama getirir. Değerleri bu şekilde aşağı yukarı açıklanabilen parametreler arasında proton, nötron, elektron ve elektron nötrinosunun kütleleri ile dört kuvvetin büyüklükleri de bulunur. Bir de sürpriz vardır: Söz konusu açıklama ile kara delik oluşumu azami seviyeye çıkıyor olsa da bunun bir sonucu evrenin yaşama uygun bir yer haline gelmesidir.

Üstelik kozmolojik doğal seçilim hipotezi hâlihazırda yapabileceğimiz gözlemlerle çürütülebilecek birkaç gerçek öngörüde bulunur. Bunlardan biri, en yüksek kütleye sahip nötron yıldızlarının kütlelerinin belirli bir sınırın üzerine çıkamayacağıdır. Buradaki düşünce şudur: bir süpernova ardında patlayan yıldızın merkezini bırakır. Bu çekirdek çökerek ya bir nötron yıldızı ya da bir kara delik oluşturacaktır. Bunlardan hangisinin ortaya çıkacağı çekirdeğin kütlesine bağlıdır; nötron yıldızları ancak kütle belirli bir kritik değerin altındaysa oluşabilir. Eğer kozmolojik doğal seçilim kuramı doğru ise bu kritik değer mümkün olduğunca düşük olmalıdır, çünkü ne kadar düşükse o kadar çok kara delik meydana gelir.

Anlaşıldığı kadarıyla nötron yıldızlarının yapı taşlarına ilişkin birkaç farklı olasılık bulunmaktadır. Bir olasılık, yalnızca nötronlardır; bu durumda kritik kütle oldukça yüksek, Güneş'in kütlesinin yaklaşık 2,5 ila 2,9 katı olacaktır. Ama başka bir olasılık nötron yıldızlarının merkezinde kaon adı verilen egzotik parçacıklar bulunmasıdır. Bu, yalnızca nötronlardan oluşan modele kıyasla daha düşük bir kritik kütleye yol açar. Fakat aradaki farkın büyüklüğü kuramsal modellemenin ayrıntılarına dayanmaktadır; çeşitli modeller, Güneş'in kütlesinin 1,6 ila 2 katı arasında bir kritik kütle vermektedir.

Eğer kozmolojik doğal seçilim kuramı doğru ise doğanın kritik kütleyi azaltmak için nötron yıldızlarının merkezinde kaon üretme imkânından yararlanmış olmasını bekleriz. Anlaşıldığı kadarıyla kaonun kütlesini yeterince hafif olacak şekilde ayarlayarak bunu başarmak mümkündür; bu yıldız oluşumu hızlarını etkilemeden, garip kuarkın kütlesiyle oynanarak yapılabilir. Kozmolojik doğal seçilimi ilk önerdiğimde, bilinen en ağır nötron yıldızları, Güneş'in kütlesinin 1,5 katından daha az kütleye sahipti. Ancak yakın dönemde kütlesi, Güneş'in kütlesinin iki katından biraz daha az olan bir nötron yıldızı gözlenmiştir. Kaon-nötron yıldızlarının kütleleri kuramsal aralığın alt sınırındaysa bu gözlem kozmolojik doğal seçilimi çürütecektir, ancak kritik kütleyi, Güneş kütlesinin iki katı olarak belirleyen en yüksek kuramsal tahminlerin doğru olması halinde, kuram gözleme ucu ucuna uymaktadır.

Fakat kütlesinin, Güneş'in kütlesinin iki buçuk katı civarında olduğu tahmin edilen, daha düşük hassasiyetle ölçülmüş bir nötron yıldızı bulunmaktadır.[6] Eğer daha kesin ölçümler bu bulguyu doğrularsa kozmolojik doğal seçilim çürütülmüş olacaktır.[7]

Bir başka öngörü, erken evrenin şaşırtıcı bir özelliği olan aşırı düzenlilik hakkında düşündüğümüzde karşımıza çıkar. Yapılan KMF gözlemleri sayesinde, erken evrendeki madde dağılımının bir yerden diğerine gidildiğinde çok az değişiklik gösterdiği bilinmektedir. Peki, neden? Neden evrenin başlangıcında büyük yoğunluk farkları yoktu? Eğer yoğunlukta büyük farklar olsaydı, yüksek yoğunluğa sahip bölgeler hemen çökerek kara delikler oluştururdu. Yoğunluk farklarının yeterince büyük olması halinde, ilkel kara delikler adı verilen bu cisimler, erken evreni doldurarak şimdikinden çok daha fazla sayıda kara delik barındıran bir evrene yol açabilirdi. Bu sav, fizik yasalarının parametrelerinde yapılacak küçük değişikliklerle bizimkinden daha fazla kara deliğe sahip bir evren yaratmanın imkânsız olduğunu söyleyen kozmolojik doğal seçilim öngörüsünü çürütüyor gibi görünmektedir.

Kozmologlar, maddenin yoğunluğundaki farklılıkları, yoğunluk dalgalanması ölçeği adı verilen bir parametre ile ölçer. Bu,

Parçacık Fiziğinin Standart Modeli'nin parametrelerinden biri olmamakla birlikte yoğunluk dalgalanmalarını artırabilecek ayarlanabilir parametrelere sahip erken evren modelleri de bulunmaktadır; söz konusu modellerin kozmolojik doğal seçilim ile uyumlu olup olmadığını sormak yerinde olacaktır. Şişme kuramının çoğu versiyonunda, arttırıldığı taktirde yoğunluk dalgalanmalarının seviyesini yükseltip evreni ilkel kara deliklerle dolduran bir parametre bulunur. Ama en basit şişme modellerinden bazılarında bu parametreyi artırmak, evrenin şişebileceği süreyi önemli ölçüde kısıtlayarak evrenin boyutlarını küçültür. Sonuçta ortaya çıkan çok daha küçük bir evrendir, ilkel kara deliklerle dolu olsa da toplamdaki kara delik sayısı bizim evrenimizdeki kara delik sayısından çok daha azdır.[8] Bu durum, kozmolojik doğal seçilimin yalnızca çok sayıda ilkel kara delik üretemeyecek basit bir şişme kuramı ile uyumlu olduğu anlamına gelir. Eğer şişmenin daha karmaşık bir kuram gerektirecek biçimde gerçekleştiği kanıtlanırsa, kozmolojik doğal seçilimin yanlış olduğu anlaşılacaktır.[9] Dolayısıyla kozmolojik doğal seçilimin öngörülerinden biri, böyle bir kanıt bulunamayacağıdır.

Elbette çok erken evrene ilişkin doğru kuram şişme olmayabilir ama bu örnek, erken evrende etki eden ve çok sayıda ilkel kara delik ortaya çıkmasına yol açabilecek herhangi bir mekanizmanın keşfedilmesi ile kozmolojik doğal seçilimin çürütülebileceğini göstermektedir.[10]

Kozmolojik doğal seçilimin, zamanın gerçek olmadığı şartlarda anlaşılması mümkün değildir. Bunun bir nedeni, evrenimizin parametrelerdeki küçük farklarla kendisinden ayrılan diğer evrenlere kıyasla yalnızca göreli bir uyumluluk avantajına sahip olduğunu iddia etmenin yeterli olmasıdır. Bu, son derece zayıf bir koşuldur. Evrenimizdeki parametrelerin mümkün olan en büyük parametreler olduğunu varsaymak şart değildir; daha da üretken bir evrene yol açabilecek başka parametreler bulunması pekâlâ mümkündür. Senaryonun tek söylediği, bu evrenlere şimdiki değerlerde yapılacak küçük bir değişiklik ile ulaşamayacağımızdır.

Dolayısıyla evren popülasyonu büyük çeşitliliğe sahip olabilir, biraz farklı evrenlere kıyasla göreli olarak daha üretken birçok türden oluşabilir. Deneme-yanılma yöntemi ile yeni üretkenlik yolları bulundukça, evren türlerinin karışımı zamanla sürekli değişecektir. Biyoloji de böyledir. Sonsuza dek yaşayan, azami seviyede uyumlu bir tür yoktur; bunun yerine, yaşam tarihinin her döneminde görece uyumlu türlerden oluşan farklı bir karışım bulunur. Yaşam hiçbir zaman dengeye ya da ideal duruma ulaşmaz; sürekli evrim geçirir. Benzer biçimde, evren popülasyonunda tipik olarak görülen yasalar da popülasyon evrimleştikçe zamanla değişecektir. Evren karışımının sürekli aynı kalacağı nihai bir duruma ulaşmak mümkün olsaydı zamanın bir önemi kalmazdı ve zaman dışı bir dengeye ulaştığımızı söyleyebilirdik. Ama doğal seçilim senaryosu böyle bir varsayımda ya da imada bulunmaz. Kozmolojik doğal seçilim senaryosunda zaman daima mevcuttur.

Üstelik söz konusu senaryo, zamanın yalnızca gerçek değil, evrensel olmasını da gerektirir. Evren popülasyonu hızla evrimleşir, her evrende ortaya çıkan her kara delik ile biraz daha büyür. Kuramdan öngörüler elde edebilmemiz için kuramın zamanın her anında kaç evrenin şu ya da bu özelliğe sahip olduğunu belirtmesi gerekir. Sözü geçen zaman, yalnızca her evren içerisinde değil, tüm evren popülasyonu genelinde anlam taşımalıdır. Yani hem her evrenin içerisinde hem de o popülasyon genelinde bir eşzamanlılık resmi sağlayacak bir zaman kavramına ihtiyacımız vardır.[11]



Bu anlattıklarımızı, sonsuz şişme ile karşılaştıralım. Parçacıkları ve kuvvetleri oluşturan kuantum alanlarının çok fazla karanlık enerji üreten bir faza girmesi nedeniyle ilkel evrenin şiştiği ileri sürülür. Bu durum, evrenin katlanarak artan bir hızda genişlemesine yol açar. Şişme, normalde faz geçişi sonucunda bir kabarcık oluşmasıyla sona erer. Bu, sıcak bir su kabında su buharı kabarcığı oluşmasına benzer; kabarcığın içinde suyun sı-

vı hâlinden açığa çıkan gaz hâli bulunur. Kozmolojik senaryoda, kabarcığın içinde yüksek oranda karanlık enerjiye sahip olmayan kuantum alanları vardır; bu sayede kabarcığın genişlemesi yavaşlar ve kabarcık evrenimize dönüşür.

Vilenken ile Linde, kabarcığın çevresindeki hâlâ yüksek oranda karanlık enerjiye sahip olan ortamın hızla şişmeyi sürdüreceğini fark ettiler. Bu durumda daha fazla kabarcık oluşur, sonra da bu kabarcıklar bizimkine benzer evrenlere dönüşür. Vilenken ve Linde, belirli koşullar altında bu sürecin sonsuza kadar sürebileceğini gördüler, çünkü şişen ortam sonsuz sayıda kabarcık evren üretse de hiçbir zaman ortadan kalkmamaktadır. Eğer bu senaryo doğruysa, evrenimiz sonsuza kadar şişen ortam içerisinde birer kabarcık olarak ortaya çıkan sonsuz sayıdaki evrenden sadece biridir.

Bu tartışma bağlamında örnek olarak kullanacağım en basit versiyonda, her kabarcığı yöneten yasalar, bir olası yasalar sahası içerisinden rastgele seçilir.[12] Çoğunlukla bu sahanın çeşitli sicim kuramları tarafından belirlendiği kabul edilmekle birlikte, Standart Model'in kendisi de dâhil değişken parametrelere sahip herhangi bir kuram kullanılabilir.

En basit durumda, her yasayı seçen kabarcıkların oranı sabittir, bu nedenle oluşan kabarcık evren sayısı artsa da genel popülasyon içerisinde geçerli olan farklı yasalara ilişkin olasılıklar değişmez. Böyle basit bir senaryoda zaman ve dinamikler, diğer tüm (belki de sonsuz sayıdaki) olasılıklar arasından evrenimizde geçerli olacak yasaların belirlenmesinde herhangi bir rol oynamaz. Dolayısıyla evrenlerin dağılımı (yani evrenlerin farklı yasalara veya özelliklere sahip olma olasılıkları) bir tür dengeye ulaşır ve sonsuza kadar orada kalır. Bu anlamda söz konusu senaryo zaman dışıdır ve kozmolojik doğal seçilime ters düşmesi açısından güzel bir örnek teşkil eder.

Her kabarcıktaki yasalar rastgele seçildiğinden, yaşamın ihtiyaç duyduğu incelikle ayarlanmış yasalara sahip evrenler son derecede nadir görülür. Yani evrenimiz, kabarcık evrenler popülasyonu içerisindeki sıra dışı bir evrendir.

Bu senaryo ile evrenimize ilişkin gözlemler arasında bir bağ kurmak için kozmologlar, daha önce belirtildiği gibi, yalnızca yaşama uygun bir dünya yaratmaya elverişli yasalara ve başlangıç koşullarına sahip bir evrende yaşayabileceğimizi söyleyen insancı ilkeye başvurmak zorunda kalır. İnsancı ilke bizi, yaşamın olmadığı çok sayıdaki evren arasından çok az sayıdaki yaşama uygun evrenleri seçmeye zorlar, çünkü yalnızca böyle bir evrende var olmamız mümkündür.

Bir evreni yaşama uygun hale getiren özellikler ile söz konusu evrenin çok sayıda kara delik üretmesini sağlayan özelliklerinin birçok ortak noktasının olması dikkat çekicidir. Öyleyse bu iki kuram (kozmolojik doğal seçilim ve insancı ilke) Standart Model parametrelerindeki aynı ince ayarlamaların bazılarını açıklıyor gibi görünmektedir. Ama bu açıklamaların birbirlerinden ne kadar farklı olduğuna dikkat edin. Kozmolojik doğal seçilimde, içinde yaşadığımız doğa sıradan bir evrendir ve popülasyonun büyük kısmı, evrenlerin daha yüksek uyumluluk seviyesine sahip olmasını sağlayan özellikleri paylaşacaktır; oysa sonsuz şişme kuramının çoklu evreninde bizimkine benzer dünyalar son derece enderdir. İlk örnekte elimizde gerçek bir açıklama vardır; ikincisinde ise yalnızca nasıl seçim yapacağımızı gösteren bir ilke.

Bu farklı açıklama türleri, evrenin henüz gözlenmemiş özelliklerine dair gerçek öngörülerde bulunma becerileri açısından da farklıdır. Daha önce gördüğümüz gibi, kozmolojik doğal seçilim şimdiden birkaç gerçek öngörüde bulunmuştur. Ama evrenimizdeki yasaları ve başlangıç koşullarını insancı ilkeyle açıklayan senaryolar, henüz hâlihazırda yapabileceğimiz bir deneyle çürütülebilir tek bir öngörüde bulunmamıştır. İleride bulunacaklarından da şüpheliyim.

Sebebine gelince: Evrenimizin açıklamak istediğiniz herhangi bir özelliğini ele alalım. Bu özellik zeki yaşam biçimleri için ya gereklidir ya da gereksiz. Eğer gerekliyse zeki yaşam barındıran az sayıdaki evrenin hepsinde geçerli olacağından, varlığımız bu özelliği zaten açıklamıştır. Şimdi de ikinci grubu, zeki yaşam bi-

çimleri için gerekli olmayan özellikleri ele alalım. Her kabarcıktaki yasalar rastgele seçildiğinden, bu özellikler evren popülasyonu içerisinde gelişigüzel dağılmıştır. Ama yaşamla bir ilişkileri olmadığına göre, söz konusu özellikler yaşamın bulunduğu evrenlerde de gelişigüzel dağılmış olacaktır. Bu nedenle kuram, kendi evrenimizde bu özelliklere dair ne gözlememiz gerektiği konusunda herhangi bir öngörüde bulunmaz.

Elektronun kütlesi, ilk gruptaki özelliklere iyi bir örnektir; elektronun kütlesi gözlemlenen değerinden çok farklı olsaydı, yaşam şartlarının bozulacağını gösteren sağlam kanıtlar vardır.[13] İkinci gruptaki özellikler için iyi bir örnek ise üst kuarkın kütlesidir; bildiğimiz kadarıyla bu değer evrenimizin canlılara uygunluğunu etkilemeksizin geniş bir aralıkta değişebilir. Dolayısıyla insancı ilke, üst kuarkın neden gözlemlediğimiz kütleye sahip olduğunu açıklama konusunda yardımcı olamaz.

Sonsuz şişme modelinin test edilebilir bir tane öngörüsü vardır: her kabarcık, evrende uzayın hafifçe negatif eğriliğe sahip olması gerektiğini söyler. (Negatif eğriliğe sahip uzay, bir küre gibi bükülmüş pozitif eğriliğe sahip uzayın aksine, bir eyer gibi bükülmüştür.) Eğer evrenimiz şişen bir çoklu evrendeki bir kabarcıkta yaratıldıysa, böyle bir eğriliğe sahip olmalıdır. Bu gerçek bir öngörü olmakla birlikte, test edilebilirliği konusunda bazı sorunlar vardır. Öncelikle, negatif eğrilik sıfıra çok yakındır ve sıfırı pozitif ya da negatif çok küçük bir sayıdan ayırmak da oldukça zordur. Hatta eğrilik, deneysel hata oranı içerisinde kaybolmaktadır. Süren deneylerden elde etmeyi beklediğimiz daha iyi verilerle bile eğriliğin tam olarak sıfır mı, hafifçe negatif mi yoksa hafifçe pozitif mi olduğunu söylemek çok zor olacaktır. Her bilimsel deneyde olduğu gibi, ölçümlerde her zaman bir miktar belirsizlik olacaktır. Bu belirsizlik hesaba katıldığında, herhangi bir gözlemin kısa süre içerisinde bu öngörüyü çürütmesi muhtemel değildir.

Evrenimizde uzayın hafifçe negatif bir eğriliği olduğunu doğrulamayı başarsak bile bu, evrenimizin devasa bir çoklu evrenin parçası olduğunu kanıtlamaz. Hafifçe negatif eğrilikle tutar-

lı birçok kozmolojik model ve senaryo vardır; bunlardan biri evrenimizin eşsiz ve Einstein'ın denklemlerinin negatif eğimli bir çözümünden ibaret olduğudur. Bu tür çözümler mevcuttur ve gerekçe olarak şişmeye ihtiyaç duymazlar. Bir başka senaryo, şişmenin yalnızca tek bir evrene yol açmış olmasıdır. Evrenimizi hiçbir şekilde etkilemeyen varsayımsal bir grup başka evrenin özellikleri hakkındaki bir hipotezi gözlemlerle doğrulamak da imkânsızdır.



Sonsuz şişme senaryosu bir olası kuramlar kümesine ihtiyaç duyar; çok sayıdaki olası sicim kuramları da böyle bir küme sağlamaktadır.

Geniş bir olası sicim kuramları sahası bulunduğu Strominger'in sözü geçen 1986 tarihli makalesinden anlaşılıyordu ama 2003 yılında, küçük bir pozitif değer taşıyan kozmolojik sabitlere sahip sicim kuramlarının astronomik sayıda olduğunun kanıtlanmasıyla kriz göz ardı edilemeyecek bir hâl aldı.[14] Bu sayı, kabaca 10^{500} civarında tahmin edilmektedir. Yine de en azından o ana kadar, söz konusu sayı çok büyük olmasına rağmen yine de sonlu bir sayıydı. Sonra 2005'te, Massachusetts Institute of Technology'deki (MIT) fizikçilerden Washington Taylor ile meslektaşları, küçük bir *negatif* değer taşıyan kozmolojik sabite sahip sonsuz sayıda sicim kuramı bulunduğunu kanıtlamayı başardı.[15]

Güney Afrikalı fizikçi George F. R. Ellis'in de vurguladığı gibi, bu durum ilgi çekici bir sonuca neden olur.[16] Eğer gerçekten kozmolojik sabitin değerinin küçük ve negatif olduğu sicim kuramlarının sayısı sonsuzken küçük ve pozitif olduğu kuramların sayısı sonlu ise evrenimizde de küçük ve negatif bir kozmolojik sabit bulunduğunu öngörmemiz gerekir. Gerçek değer çoklu evrendeki evrenler arasında gelişigüzel bir dağılım gösteriyorsa negatif değere sahip bir evrende yaşama ihtimalimiz pozitif değere sahip bir evrende yaşama ihtimalimizden sonsuz kez daha yüksektir. Çünkü ilk gruptaki evrenler, ikinci gruptaki ev-

renlerden sonsuz kez daha fazladır. Bu, sicim kuramının gerçek bir öngörüsü olabilir ve bu tür şeyler son derece azdır. İlk bakışta bu öngörü, kuramın yanlış olduğuna işaret ediyor gibi görünmektedir, çünkü kozmolojik sabitin ölçülen değeri pozitiftir.

Bazı sicim kuramcıları, sicim kuramları oluşturma konusunda henüz çok az şey bildiğimize, ileride kozmolojik sabitin pozitif değer taşıdığı sonsuz sayıda sicim kuramı olduğunun da kanıtlanabileceğine dikkat çekmektedir. Bir başka yanıt, insancı ilkeye başvurmak ve Taylor ile arkadaşları tarafından betimlenen negatif kozmolojik sabite sahip evrenlerin yaşama uygun olmadıklarını, o nedenle de göz ardı edilmeleri gerektiğini savunmak olmuştur.[17] Ancak negatif kozmolojik sabite sahip sonsuz sayıdaki evrenin, pozitif kozmolojik sabit taşıyan sonlu sayıdaki evrenle baş edebilmesi için gereken tek şey, ilk gruptaki evrenlerin sınırlı bir kısmında yaşamın ortaya çıkmasıdır.

İnsancı kozmolojinin sorunu şudur: ilkesel olarak gözlenmesi mümkün olmayan başka evrenler gibi kuramsal varlıklar üzerinde çalışırken, varsayımlar üzerinde daima istediğiniz gibi oynayabilirsiniz.[18] Devasa ya da sonsuz sayıda başka evren olduğu hipotezini doğrulayamayacağımız gibi, çeşitli özelliklerin bunlar arasında nasıl bir dağılım gösterdiğini de hesaplayamayız. Bizimkinden farklı evrenlerde yaşam olup olmadığını tartışabiliriz ama savlarımızı gözlemlerle kontrol edemeyiz.

İnsancı kuramlar ile kozmolojik doğal seçilim arasındaki en çarpıcı fark, bu iki modelin kafa karıştıran kozmolojik sabit sorununu ele alış biçimlerindeki farktır. Belirtildiği gibi fizikteki bu önemli sabit ölçülmüştür ve ufak ama pozitif bir değere sahiptir: Planck ölçeği birimleriyle ifade edildiğinde bu değer 10^{-120}'dir. Neden bu kadar küçük olduğu bir muammadır. Önemli bir husus da şudur: fizik ve kozmolojideki diğer tüm sabitleri aynı tutup kozmolojik sabiti arttırarak gözlemlenen değerinin üstüne çıkarırsak, kısa sürede evrenin gökadaların oluşumuna imkân vermeyecek kadar hızlı genişlediği bir değere ulaşırız. Buna *kritik değer* diyelim. Kritik değer gözlemlenen değerin yaklaşık yirmi katı civarındadır.

Peki, bu neden önemlidir? Açıklamaya, aşağıdaki gibi hatalı bir çıkarımla başlayacağım:

(1) Gökadalar, yaşam için gereklidir. Aksi halde yıldızlar oluşamazdı ve yıldızlar olmadan gezegen yüzeylerinde, yaşam da dâhil, karmaşık yapıların ortaya çıkmasını sağlayan karbon ile enerji de olmazdı.
(2) Evren, gökadalarla doludur.
(3) Ama gökadaların oluşabilmesi için kozmolojik sabitin kritik değerin altında olması şarttır.
(4) Dolayısıyla insancı ilke, kozmolojik sabitin kritik değerden düşük olması gerektiğini öngörür.

Hatayı fark edebildiniz mi? Birinci önerme doğrudur ama çıkarımın izlediği mantıkta herhangi bir rolü yoktur. Asıl çıkarım, ikinci önerme ile başlamaktadır. Evrenin, gökadalarla dolu olduğu zaten gözlemlerle sabittir; gökadalar olmadan yaşamın mümkün olup olmayacağı konu dışıdır. Yani sonucu zayıflatmadan ilk önermeyi çıkarımdan atabiliriz. Ama yaşamdan bahsedilen tek yer birinci önermedir, yani onu çıkarımdan atarsak insancı ilkenin bir rolü kalmaz. Doğru sonuç şudur:

(4) Dolayısıyla gözlemlediğimiz evrenin gökadalarla dolu olduğu gerçeği, kozmolojik sabitin kritik değerin altında olması gerektiğine işaret eder.

Çıkarımın hatalı olup olmadığını anlamanın bir yolu, kozmolojik sabitin kritik değerin üstünde çıkması halinde ne yapacağımızı düşünmektir. Zaten konuyla alakası olmayan birinci önermeye itiraz etmezdik. Bir gerçeği ifade eden ikinci önermeye de itiraz etmezdik. Yalnızca kuramsal bir ifade olan üçüncü önermeye karşı çıkabilirdik. Belki de kritik değer hesaplarımız hatalıdır.

Steven Weinberg, 1987 yılında kozmolojik sabitin taşıdığı küçük değer için bu hatadan kaçınan ama yine de insancı ilkeyi kullanan dâhice bir açıklama önerdi.[19] Önerisi şöyledir: Evrenimi-

zin, kozmolojik sabitin sıfır ile bir arasında gelişigüzel bir dağılım gösterdiği devasa bir çoklu evrende yer aldığını farz edelim.[20] Yaşamak için gökadalara ihtiyacımız olduğuna göre, kozmolojik sabitin kritik değerden düşük olduğu bir evrende yaşıyor olmalıyız. Ama bu gibi evrenlerin herhangi birinde yaşıyor olabilirdik. Dolayısıyla içinde bulunduğumuz durumda, kozmolojik sabit sıfır ile kritik değer arasında rastgele bir sayı olacak şekilde şapkadan çekilmiş gibidir. Bu, kozmolojik sabitimizin muhtemelen kritik değerden çok da düşük olmadığını gösterir, çünkü sözü geçen şapkadaki rakamların çok az bir kısmı o denli küçük olacaktır. Evrenimizdeki kozmolojik sabitin kritik değerle aynı büyüklük kertesinde olması beklenmelidir, çünkü yaklaşık bu büyüklükteki sayılar çok daha küçük sayılardan oldukça fazladır.

Bu temelde Weinberg, kozmolojik sabitin kritik değerden küçük ama onunla aynı büyüklük kertesinde olacağını öngördü. Gerçekten de kozmolojik sabit on sene sonra ölçüldüğünde,[21] kritik değerin yüzde beşi dâhilinde olduğu görülmüştür. Az önce açıkladığımız mantık çerçevesinde, kozmolojik sabiti şapkadan çekiyor olsaydık böyle bir değer çekme olasılığımız yirmide birdir. Bu çok da düşük bir olasılık değildir, dünyada yirmide bir şansa sahip birçok şey gerçekleşir. Bu nedenle bazı kozmologlar, Weinberg'in öngörüsünün elde ettiği başarının, dayandığı hipotezi (bir çoklu evrende yaşadığımız hipotezini) destekleyen bir kanıt olarak görülebileceğini ileri sürer.

Bu sonuca ilişkin şöyle bir sorun vardır: *değişen tek parametrenin kozmolojik sabit olması kaydıyla,* bahsedilen kritik değer, aşılması halinde gökadaların oluşmayacağı bir değerdir. Ama evrenin erken dönemlerine ilişkin kuramlarda değişebilecek başka parametreler de bulunur. Eğer kozmolojik sabiti değiştirirken bu parametrelerle de oynarsak, söz konusu sav gücünü kaybetmektedir.[22]

Bu bölümde daha önce değindiğimiz gibi, ilkel evrendeki maddenin ne kadar homojen bir biçimde dağıldığını belirleyen yoğunluk dalgalanmalarının boyutuyla oynadığımız bir örneği ele alalım. Dalgalanmalar önemlidir çünkü daha büyük olmala-

rı halinde, kozmolojik sabit kritik değerin oldukça üzerinde de olsa, gökadalar dalgalanmaların yarattığı çok yoğun bölgelerde yine de oluşabilmektedir. Kozmolojik sabit için bir kritik değer yine de vardır ama yoğunluk dalgalanmalarının boyutu arttıkça bu kritik değer de artar.

Bu sayede, evren popülasyonu içerisinde hem kozmolojik sabitin hem de dalgalanma boyutunun değişiklik göstermesine izin vererek savı yeniden inceleyebilirsiniz. Şimdi, her evren için şapkadan iki sayı çekmeniz gerekir: biri kozmolojik sabit için diğeri de yoğunluk dalgalanmalarının boyutu için. Sayıları, gökadaların oluşmasına izin veren aralık içerisinden rastgele seçiyoruz.[23] Bu durumda, her iki sayıyı da rastlantısal olarak gözlemlendikleri kadar küçük çekme olasılığının 20'den, birden bire 100 binde bir kaça kadar düştüğü görülür.[24]

Sorun şudur ki başka bir evren gözlemlemediğimiz için farazi çoklu evren içerisinde hangi sabitlerin değişim gösterdiğini bilmek mümkün değildir. Eğer çoklu evrende yalnızca kozmolojik sabitin değiştiğini kabul edersek, Weinberg'in savı başarı kazanır. Öte yandan, eğer hem kozmolojik sabit hem de dalgalanma boyutunun değiştiğini varsayarsak, sav daha az başarılı olacaktır. Bu hipotezlerden birinin ya da ötekinin doğru olduğuna ilişkin bağımsız bir delil bulunmadığından, sav bizi bir sonuca götürmemektedir.

Yani Weinberg'in savının, kozmolojik sabitin değerini kabaca doğru tahmin ettiği iddiası, yukarıda tartışılandan daha zor fark edilen bir yanılgı nedeniyle başarısız olmaktadır. Olasılık kuramı uzmanlarının iyi bildiği bu yanılgı, gözlenemeyen varlıkları betimlediği için bağımsız olarak test edemeyeceğimiz bir olasılık dağılımını keyfi biçimde seçme serbestisinden yararlandığınızda ortaya çıkar. Weinberg'in orijinal savı, mantıksal açıdan ikna edici değildir, çünkü gözlenemeyen varlıklara ilişkin farklı bir varsayımda bulunarak farklı bir sonuca varabilirsiniz.[25]

Kozmolojik doğal seçilim, aynı delilleri açıklamada daha başarılıdır, çünkü hem dalgalanma boyutunu hem de kozmolojik sabiti belirleyen bir neden sunmaktadır. Bazı basit şişme modelle-

rinde dalgalanma boyutu ile evrenin boyutu arasında güçlü bir ters orantılı ilişki olduğunu hatırlayın; yani dalgalanma boyutu ne kadar küçükse, evren o kadar büyük olur ve dolayısıyla da (diğer koşullar sabitken) o kadar fazla sayıda kara delik oluşur. Demek ki dalgalanma boyutu, gökadaların oluşması için gerekli değer aralığının alt sınırına yakın olmalıdır. Bu da gökada oluşumu ile tutarlı bir şekilde, kozmolojik sabitin küçük bir kritik değere sahip olacağını gösterir. Kozmolojik doğal seçilim, basit şişme modeli ile birlikte, hem dalgalanma boyutunun hem de kozmolojik sabitin küçük olması gerektiğini öngörür. Bu keyfi bir öngörü değildir ve elimizdeki kanıtlara uymaktadır.

Oysa insancı ilke, çok daha küçük bir evrenle uyumludur, çünkü tek bir gökada bile zekâ sahibi yaşam biçimlerinin ortaya çıkması için muhtemelen yeterlidir. Gözlemler, çoğu yıldızın gezegenleri olduğunu göstermektedir, yani bir gökada dolusu gezegen olması, bunların en azından birinde yaşamın ortaya çıkmasını garanti altına almak için yeterli olmalıdır. Daha fazla gökada eklemek, yaşamın ortaya çıkma olasılığını artırmayacaktır.

Bir insancı ilke taraftarı, ilkeyi yaşam barındıran daha çok sayıda gezegene sahip bir evrende bulunma olasılığımızın daha yüksek olduğunu söyleyecek şekilde değiştirirsek, insancı ilkeyi kurtarabileceğimizi öne sürebilir. Bu ifade, bize mümkün olduğunca geniş evrenleri tercih etmek için bir neden sağlar ve böyle bir evren de hem yoğunluk dalgalanmaları hem de kozmolojik sabit için düşük bir değeri gerektirir.

Tuhaf bir şeyler dönüyor olmalı, çünkü görüldüğü kadarıyla hiçbir olguyu değiştirmeden bir kuramın öngörülerini değiştiriyoruz. İnsancı ilkenin bu iki modelinin gerçek çoklu evren konusundaki iddiaları arasında pek bir fark yoktur. Tek fark, çok daha geniş bir yaşama elverişsiz evrenler popülasyonu içerisinden dikkate almamız gereken evrenleri nasıl seçeceğimiz konusunda ortaya çıkmaktadır.

"Bir dakika" diye yanıt verebilir insancı ilke taraftarı. "Çoklu evrendeki bir uygarlığın kendisini birçok uygarlığa ve dolayısıyla birçok gökadaya sahip bir evrende bulması ihtimali tek bir

gökadaya sahip bir evrende bulması ihtimalinden daha yüksektir." Bu ilk bakışta makul bir sav gibi görünebilir ama "Nereden biliyorsun?" diye de sormamız gerekir. Çoklu evren içerisindeki küçük evrenlerin sayısı, büyük evrenlerin sayısından çok daha fazla olabilir; eğer öyleyse rastgele seçilen bir uygarlığın küçük bir evrende olma ihtimali daha yüksek olacaktır. Hangi senaryonun doğru olduğu, çoklu evren içerisindeki büyük ve küçük evrenlerin göreli dağılımına bağlıdır ama bu özelliği bağımsız bir şekilde doğrulayamayız. Muhtemelen kuramcılar evren boyutuna ilişkin farklı dağılımları destekleyen farklı modeller geliştirebilir, ne var ki senaryonuzdaki gözlenemeyen özellikleri hipotezinize daha iyi uyan bir model seçecek şekilde değiştirebiliyor olmanız, bu senaryonun doğru olduğunu göstermez.

Fakat kozmolojik doğal seçilimde, evrenimiz evren popülasyonun sıradan bir üyesidir ve kuramda sıra dışı vakaları ayıklamaya yönelik ayarlanabilir bir ilkeye yer yoktur.

Tartışmanın, evrenlerin kara delikler içerisinde mi yaratıldığı yoksa şişme sırasında kabarcıklar şeklinde mi yaratıldığı konusunda olmadığına dikkatinizi çekerim. Tartışma, senaryoların evrendeki bilinen özellikleri açıklarken ve yeni özellikler öngörürken kullandığı mantıkta zamanın ve dinamiklerin oynadığı rolle ilgilidir. Bir şişme modeli, zamanı ve uzun soy ağaçlarını (kabarcıklar içindeki kabarcıkların içindeki kabarcıkları) kullanarak insancı ilkeye olan bağımlılığını ortadan kaldırıp kozmolojik doğal seçilimin avantajlarından yararlanabilir.

Önemli olan nokta, yalnızca zaman içerisinde süregelen evrimi savunan kuramın gözlemsel kanıtlara uyum konusunda zaman dışı kuramdan daha başarılı olması değildir. Önemli olan nokta, ayrıca evrimi destekleyen kuramın net bir öngörüde bulunması, buna karşın insancı savın öngörülerinin, savın nasıl işlemesini istiyorsak ona göre değiştirilebilmesidir. Başlangıçta düşündüğümüzün aksine, doğa yasalarının zaman içerisinde evrimleştiği fikrine dayanan hipotezler, zaman dışı kozmolojik senaryolara kıyasla çürütülmeye daha açıktır ve eğer bir fikir çürütülmeye açık değilse, o fikir bilimsel değildir.

Kuantum Mekaniği ve Atomun Serbest Kalması

Fizik yasalarının nasıl seçildiğine ilişkin gizemin çözülmesinde, zamanın gerçekliğinin kilit rol oynadığını gördük. Bunu, söz konusu yasaların evrim geçirdiği hipotezini destekleyerek yapar. Zamanı temel kabul etmek, fizikteki bir başka büyük bulmacanın çözümü konusunda da yardımcı olabilir: kuantum mekaniğine anlam vermek. Zamanın gerçekliği, kuantum kuramının yasaların zaman içerisinde nasıl evrimleştiğine ışık tutabilecek şekilde yeniden ifade edilmesine imkân verir.

Kuantum mekaniği bugüne dek geliştirilmiş en başarılı fizik kuramıdır. Kuantum fiziği olmasaydı, bugün temel nitelikteki dijital, kimyasal ve tıbbi teknolojilerin hemen hemen hiçbiri olmazdı. Ancak kuramın eksik olduğunu düşündüren güçlü nedenler bulunmaktadır.

Kuantum mekaniğinin, doğayı anlamaya ilişkin çabalarımızda zorluklar çıkardığı şüphesizdir. Fizikçiler, 1920'lerde ortaya atılmasından bu yana, kuantum kuramının bilmecelerine anlam vermek için tuhaf senaryolar üretmiştir. Hem canlı hem ölü kediler, eş zamanlı olarak var olan sonsuz sayıda evren, neyin ölçüldüğüne veya gözlemi yapanın kim olduğuna göre değişen

gerçeklik, çok uzak mesafelerden birbirlerine ışıktan hızlı sinyaller gönderen parçacıklar, bu senaryolara örnek olarak verilebilir. Bunlar atom altı âlemin gizemlerine çözüm olarak önerilen yaratıcı fikirlerden bazılarıdır.

Tüm bu stratejiler, kuantum mekaniğinin tek bir deneyde neler olduğuna ilişkin fiziksel bir resim sunmamasının bir sonucu olarak ortaya çıkar. Bu konuda ihtilâf yoktur. Kuramın yalnızca deney sonuçlarına ilişkin istatistiksel öngörülerde bulunduğu önermesi, kuantum mekaniğinin aksiyomları arasındadır.

Einstein, uzun zaman önce tek bir deneyde neler olduğuna ilişkin net bir betimleme yapamadığı için kuantum mekaniğinin eksik olduğunu savunmuştu. Bir elektron, bir enerji seviyesinden diğerine atlarken tam olarak ne yapar? Birbirlerinden anında haberleşemeyecek kadar uzak olan parçacıklar bunu nasıl başarır? Parçacıklar nasıl aynı anda iki yerde birden bulunuyormuş gibi görünür? Kuantum mekaniği, bu sorulara bir yanıt vermez. Kuantum mekaniğinin yine de olağanüstü derecede yararlı olmasının nedeni, kısmen, devasa miktarda deneysel veriyi organize etmek için fiziğe bir dil ve bir çerçeve vermesinden kaynaklanmaktadır. Atom altı düzeyde gerçekte neler olduğunu gösteremese de farklı deneysel sonuçlara ilişkin olasılıkları öngörmemizi sağlayan bir algoritma sunmaktadır. Şimdilik bu algoritma işe yaramaktadır.

Bir kuram öngörüde bulunma kaynağı olarak başarılı olmasına rağmen, yine de doğaya ilişkin varsayımlarının gelecekteki kuramlarca çürütülebilir olması bağlamında hatalı olabilir mi? Bu durumla bilim tarihinde birkaç defa karşılaşılmıştır. Newton'un hareket yasalarının altında yatan varsayımlar, görelilik ve kuantum kuramları ile çürütülmüştür. Batlamyus'un Güneş sistemi modeli bin yıldan uzun süre kullanılmıştır, ancak son derece yanlış fikirlere dayanmaktadır. Görüldüğü üzere etkinlik doğruluğun garantisi değildir.

Kuantum mekaniğinin de Batlamyus ve Newton'un meşhur kuramları ile aynı kaderi paylaşacağı kanısına vardım. Belki de bu kurama bir anlam veremememizin nedeni, doğru olmaması-

dır. Bunun yerine kuantum mekaniği, muhtemelen, daha kolay anlaşılabilecek, daha derin bir kuramın kaba bir tahmininden ibarettir. Sözü geçen daha derin kuram, bu kitaptaki tüm savların işaret ettiği bilinmeyen kozmolojik kuramdır. Kilit, yine zamanın gerçekliğinde yatmaktadır.

Kuantum mekaniği, birbirleriyle yakından ilişkili üç husus nedeniyle sorunlu bir kuramdır. Bunların ilki, tek bir süreçte ya da deneyde neler olduğuna dair fiziksel bir resim sunamamasıdır; önceki fizik kuramlarının aksine, kuantum mekaniğinde kullandığımız açıklama biçiminin bize zaman içerisinde anbean neler olduğunu gösteriyormuş gibi yorumlanması mümkün değildir. İkincisi, çoğu durumda kuram bir deneyin *kesin* sonucunu öngöremez; bize neler olacağını söylemek yerine olabilecek çeşitli şeylerin olasılıklarını vermekle yetinir.

Kuantum mekaniğinin üçüncü ve en sorunlu özelliği, kuramı ifade etmek için ölçüm, gözlem veya bilgi kavramlarının zorunlu olmasıdır. Bunlar birincil kavramlar olarak kabul edilmelidir; temel kuantum süreçleri bağlamında açıklanamazlar. Kuantum mekaniği bir kuramdan çok, deneycilerin mikroskobik sistemleri nasıl sorgulayacağına ilişkin kuralları belirleyen bir yöntemdir. Ne bir kuantum sistemiyle etkileşimde kullandığımız ölçüm cihazları ne de zamanı ölçmek için kullandığımız saat, kuantum mekaniğinin diliyle betimlenebilir. Gözlemciler olarak kendimizi de benzer şekilde betimleyemeyiz. Bu durum, geçerli bir kozmolojik kuram oluşturmak için kuantum mekaniğinden vazgeçmemiz, onun yerine gözlemciler olarak kendimizi ve ölçüm cihazlarımız ile saatlerimizi de kapsayacak şekilde tüm evrene genişletilebilecek bir kuram oluşturmamız gerektiğini düşündürmektedir.[1]

O kuramı ararken, kuantum fiziğinin ayrılmaz bir parçası oldukları yapılan deneylerce kanıtlanan doğaya ilişkin üç ipucunu akılda tutmamız gereklidir: *bağdaşmayan sorular, dolanıklık ve yerel olmama.*

Her sisteme ait bir özellikler listesi vardır, örneğin parçacıklar için konum ve momentum[2] ya da ayakkabılar için renk ve topuk yüksekliği gibi. Her özelliğe ilişkin sorulabilecek bir soru bulu-

nur: Parçacık şu anda nerede? Ayakkabı ne renk? Deneylerin rolü, bu sorulara yanıt bulmak için sistemi sorgulamaktır. Klasik fizikte bir sistemi tam olarak betimlemek isterseniz tüm soruları yanıtlarsınız, bu da size tüm özellikleri verir. Ancak kuantum fiziğinde bir soruyu sorabilmek için ihtiyaç duyduğunuz düzenek diğer soruları cevaplanamaz kılabilir.

Örneğin, bir parçacığın konumunun ne olduğunu ya da momentumunun ne olduğunu sorabilirsiniz ama ikisini aynı anda soramazsınız. Niels Bohr'un, *tamamlayıcılık* adını verdiği ve fizikçilerin *komütatif olmayan değişkenlerden* bahsederken kastettiği işte budur. Kuantum modası diye bir şey olsaydı, ayakkabı rengi ve topuk yüksekliği, bağdaşmayan özellikler olabilirdi. Bu, ölçeceğiniz ve dışarıda bırakacağınız özellikleri seçmenize gerek olmayan klasik fizikten son derece farklıdır. Bu noktada hayati soru, deneycinin yapması gereken seçimin üzerinde çalıştığı sistemin gerçekliğini etkileyip etkilemediğidir.

Dolanıklık da tümüyle bir kuantum olgusudur; buna göre kuantum sistemi çiftleri birbirleriyle bazı özellikleri paylaşabilir, ancak her sistem bireysel olarak belirsiz kalır. Yani çift arasındaki bir ilişki hakkında kesin bir yanıta sahip bir soru sorabilirsiniz ama bireyler hakkında soracağınız ilişkili herhangi bir sorunun kesin bir yanıtı olmayacaktır. Bir çift kuantum ayakkabısını ele alalım. Ayakkabılar, *zıtlık* adı verilen bir özelliğe sahip olabilir; buna göre her iki ayakkabıya da soracağınız her soru, zıt yanıtlar verecektir. Her ikisine de renklerini sorduğunuzda sol tek "beyaz" derse sağ tek "siyah" diyecektir ya da tam tersi. Topuk yüksekliğini sorarsanız, sol tekin topuğu yüksekse sağ tekin topuğu alçak olacaktır ya da tam tersi. Yalnızca sol tekin topuk yüksekliğini sorarsanız, yanıt yüzde elli olasılıkla ya "yüksek" ya da "alçak" olacaktır. Benzer şekilde, tek bir ayakkabının rengine ilişkin olarak yanıt yüzde elli olasılıkla ya "siyah" ya da "beyaz" olacaktır. Hatta eğer kuantum ayakkabı çifti, *zıtlık* özelliğine sahipse tek bir ayakkabıya sorulan tüm sorular rastgele yanıtlar, her ikisine de sorulan tüm sorular ise zıt yanıtlar alacaktır.

Klasik fizikte bir parçacık çiftine ait herhangi bir özellik, her iki parçacığa ait özelliklerin betimlenmesine indirgenebilir. Dolanıklık, bunun kuantum sistemleri için geçerli olmadığını göstermektedir. Bizim tartışmamız açısından önemli olan nokta şudur: dolanıklık aracılığıyla doğada yeni özellikler yaratabilirsiniz. Daha önce birbirleriyle hiç etkileşime girmemiş türde iki kuantum sistemini *zıtlık* gibi bir özellikle hazırlayarak aralarında dolanıklık ilişkisi oluşturmanız halinde, daha önce doğada hiç var olmamış bir özellik yaratmış olursunuz.

Dolanık çiftler, iki atom altı parçacığın bir araya getirilerek etkileşime sokulmasıyla yaratılır. Dolanıklık bir kez oluştuktan sonra parçacıklar ayrılıp birbirlerinden çok uzağa gitse de dolanık kalırlar. İkisi de başka bir sistemle etkileşime girmedikleri sürece *zıtlık* gibi dolanık özellikleri paylaşmayı sürdürürler. Bu, kuantum seviyesindeki doğaya ilişkin üçüncü ve en hayret verici ipucunu meydana getirir: *yerel olmama.*

İki ayakkabıyı, Montreal'de *zıtlık* özelliği açısından dolanık hale getirip sol teki Barselona'ya, sağ teki de Tokyo'ya gönderelim. Barselona'daki deneyciler sol tekin rengini ölçmeyi tercih etsin. Bu tercih, Tokya'daki sağ tekin rengini anında etkiliyormuş gibi görünür. Bunun nedeni, Barselona'daki laboratuvar çalışanlarının kendi ellerindeki ayakkabının rengini gözlemleyince Tokyo'daki ayakkabının aksi renge sahip olacağını doğru biçimde tahmin edebilmeleridir.

20. yüzyılda fizikteki etkileşimlerin yerellik adı verilen bir özelliğe sahip olmasına alıştık; bu özellik, bilginin bir yerden diğerine iletilebilmesi için bir parçacık veya dalga aracılığıyla seyahat etmesi gerektiği anlamına gelir. Özel görelilik nedeniyle tüm etkilerin ışık hızında veya daha yavaş gittiği kabul ediliyordu. Kuantum fiziği, özel göreliliğin bu merkezi öğretisini ihlal ediyor gibi görünmektedir.

Kuantum kuramındaki yerel olmayan etkiler gerçektir ama güç fark edilirler ve Barselona ile Tokyo arasında bilgi göndermek için kullanılamazlar. Bunun nedeni, Tokyo'daki deneyciler, hangi özelliği ölçmek isterlerse istesin, sonucun onlara rast-

gele gibi görünecek olmasıdır. Ayakkabıyı aynı sıklıkla siyah ya da beyaz olarak göreceklerdir. Yalnızca Barselona'daki tekin ne renk olduğunu öğrendiklerinde ayakkabıların zıt renklerde olduğunun farkına varacaklardır. Ama bunu öğrenebilmeleri için bilginin ışık hızında veya daha yavaş bir hızla Barselona'dan Tokyo'ya iletilmesi gerekir.

Ancak yine de akılda kalan bir soru vardır: Tokyo ve Barselona'da bulunan ayakkabılar arasındaki karşılıklı ilişki, bu şehirlerdeki deneyciler paketi açıp ayakkabıları çıkardığında daima zıt renklerle karşılaşmalarını sağlayacak şekilde nasıl belirlenmiştir? Montreal'de paketlemeyi yapan kişinin, Tokyo'ya gidecek pakete bir rengi, Barselona'ya gidecek pakete de zıt rengi koyduğu düşünülebilir. Ancak kuramsal savlar ve deneysel sonuçlar durumun hiç de böyle olmadığını kanıtlayabilmektedir. Bunun yerine, karşılıklı ilişkiler bir şekilde paketler Tokyo'da ve Barselona'da açıldığı anda belirlenmektedir.

Diyelim ki elimizde koca bir kutu dolusu ayakkabı çifti var ve her çifti *zıtlık* özelliği ile dolanık hale getirdik. Tüm sol tekleri Barselona'ya, tüm sağ tekleri de Tokyo'ya gönderelim. Bu şehirlerdeki deneyciler her ayakkabı tekinin hangi özelliğini ölçeceklerine gelişigüzel karar versinler ve buldukları sonuçların kaydetsinler. Yaptıkları seçimleri ve buldukları sonuçları Montreal'deki fabrikaya geri göndersinler. Montreal'de de bu kayıtlar karşılaştırılsın. Böyle bir durumda, ortak sonuçlara ancak yerel olmayan etkilerin var olduğunu kabul ederek bir anlam verebileceğimiz ortaya çıkar; bu etkiler sayesinde, her çift ayakkabının bir tekine ait özellikler diğer tekin hangi özelliğinin ölçüleceğine ilişkin seçimden etkilenmektedir. Burada anlatılanlar, İrlandalı fizikçi John Stewart Bell'in 1964 yılında, zekice düzenlediği bir dizi deney yardımıyla kanıtladığı teoremin içeriğini oluşturmaktadır.

Bu özellikler ve sorunlar, kuantum mekaniğinin ortaya çıkışından bu yana geçen doksan yılda oldukça dikkat çekmiştir. Kuantum mekaniğini daha iyi anlamak için birçok yaklaşım önerilmiştir. Ben, artık tüm bu yaklaşımların hedefi ıskaladığına ve kuantum kuramındaki tuhaf özelliklerin, bu kuramın kozmolo-

jik bir kuramın bir kesiti (evrenin küçük alt sistemleri için geçerli bir kesiti) olmasından kaynaklandığına inanıyorum. Zamanın gerçekliğini benimseyerek, kuantum kuramını sakladığı gizemleri aydınlatacak ve belki de çözüme kavuşturabilecek bir şekilde anlamanın yolunu açacağız.



Ayrıca zamanın gerçekliğinin, kuantum mekaniğine ilişkin yeni bir ifade biçimini mümkün kıldığına da inanıyorum.[3] Yeni ve tahmine dayalı bir ifade biçimidir bu. Henüz deneysel testler bir yana, kesin bir deneysel öngörü bile ortaya koyamamıştır. Bu nedenle doğru olduğunu iddia edemiyorum. Bununla birlikte, bu ifade biçimi fiziksel yasaların doğasına ilişkin olarak köklü biçimde farklı bir bakış açısı sunar ve zamanla evrimleşen yasalar fikrini yeni ve şaşırtıcı bir şekilde hayata geçirir. Birazdan göreceğimiz gibi test edilebilir olması da muhtemeldir.

Acaba fiziğin etrafımızdaki doğanın büyük kısmını açıklama gücünü kaybettirmeden, zaman dışı doğa yasaları fikrinden vazgeçmemiz gerçekten mümkün olabilir mi? Yasaların determinist olduğunu düşünmeye alıştık. Determinizmin diğer sonuçlarından biri, evrende gerçekten yeni hiçbir şey olamamasıdır: meydana gelen her şey, değişmeyen özelliklere sahip temel parçacıkların, değişmeyen yasalar aracılığıyla yeniden düzenlenmesinden ibarettir.

Elbette sayısız durumda geçmişin geleceği yansıtacağından emin olabiliriz. Daha önce birçok kez yaptığımız ve daima aynı sonucu aldığımız bir deneyin gelecekte de aynı sonucu vereceğine güvenebiliriz. (Sonuçlar bazen bir türlü bazen başka türlü çıksa da her sonuca ilişkin oran gelecekteki ölçümlerde de aynı şekilde geçerli olacaktır.) Bir top fırlattığımızda, topun bir parabol izlemesini bekleyebiliriz, çünkü geçmişte fırlattığımız her top aynı şeyi yapmıştır. Genellikle bu durumun hareketin zaman dışı bir doğa yasası tarafından belirlenmesinden kaynaklandığını söyleriz; yasa zaman dışı olduğundan gelecekte de geç-

mişteki gibi etki edecektir. Yani zaman dışı yasalar gerçek yeniliğe kapalıdır.

Ama zaman dışı yasaların işlediği varsayımı, şimdinin geçmişi yansıtmasını açıklayabilmek için gerçekten şart mıdır? Yasa kavramına, yalnızca bir sürecin ya da deneyin defalarca tekrarlandığı durumlarda ihtiyaç duyarız. Ancak bu örnekleri açıklamak için aslında zaman dışı bir yasadan çok daha zayıf bir kavram kullanabiliriz: örneğin, tekrar tekrar yapılan ölçümlerin aynı sonucu vereceğini söyleyen bir ilke gibi. Ölçümler bir yasaya uydukları için değil, geçerli tek yasa bir öncüllük ilkesi olduğu için aynı sonuçları verecektir. Böyle bir ilke, yasalara bağlı determinizmden faydalandığımız tüm durumları açıklayacak ama yeni ölçümlerin geçmiş bilgiler temelinde öngörülemeyen yeni sonuçlar vermesine de engel olmayacaktır. Yasaların geçmişte defalarca tekrarlanmış durumlara uygulanmasıyla çelişkiye düşülmeyecek ama yeni durumların evrimleşmesi konusunda en azından küçük bir serbestlik derecesi kazanılacaktır. Anglo-Sakson geleneğindeki teamül hukuku, yargıçları benzer davalarla karşılaşan geçmişteki yargıçlar gibi karar vermeye zorlayan bir öncüllük ilkesine dayanır. Ben, benzer şekilde işleyen bir ilkenin doğada da geçerli olabileceğini önermek istiyorum.

Bu fikri ifade ettikten sonra doğa yasalarının zamanla edinilen alışkanlıklar olduğunu söyleyen Charles Sanders Peirce'ın, bu konuda da benden önce davrandığını öğrenerek hayrete düşmüştüm:

> Her şeyde bir alışkanlık edinme eğilimi vardır. Atomlar ve atomların bileşenleri, moleküller ve molekül grupları, kısacası akla gelebilecek her gerçek nesne için daha önce benzer bir durumda davrandıkları gibi davranma ihtimali, başka bir şekilde davranma ihtimalinden daha fazladır. Bu eğilimin kendisi bir düzen oluşturur ve sürekli artış hâlindedir. Geçmişe baktığımızda, bunun giderek daha az kararlı bir eğilim hâline geldiği dönemleri görürüz.[4]

Bu ilke, hakikaten yeni durumlar için hayati önem taşır. Çünkü eğer doğa, aslında zaman dışı yasalara göre değil de bir öncüllük ilkesine göre işliyorsa, bir öncül olmadığında sistemlerin nasıl davranacağı da öngörülemez. Gerçekten yeni bir sistem oluştururs ak, bu sistemin ölçümlere vereceği tepkiyi elimizdeki bilgilere dayanarak öngöremeyiz. Yalnızca bu sitemin birçok kopyasını ürettiğimizde öncüllük ilkesi devreye girer. Ondan sonra da sistemin davranışları öngörülebilir hâle gelir.

Eğer doğa böyleyse gelecek hakikaten açıktır. Yeterli öncüllerin bulunduğu durumlarda determinizmin boyunduruğu altına girmeden güvenilir yasalardan yararlanmayı sürdürebiliriz.

Klasik mekaniğin hakiki yeniliği imkânsız kıldığı söylenebilir, çünkü meydana gelen her şey parçacıkların sabit yasalara uyan hareketlerinden ibarettir. Ama kuantum fiziği, iki açıdan farklıdır ve bu farklar zaman dışı yasaların yerine öncüllük ilkesini koymamıza imkân verir.

İlk fark, daha önce de gördüğümüz gibi, dolanıklığın hakikaten yeni özellikler üretebilmesidir. Bir çift parçacığın, *zıtlık* gibi ayrı ayrı ikisinde de bulunmayan dolanık bir özelliğe sahip olup olmadığı test edilebilir. İkincisi, kuantum sistemlerinin çevrelerine verdikleri tepkide hakiki bir rastlantısallık unsuru bulunuyormuş gibi görünmesidir. Bir kuantum sisteminin geçmişine dair her şeyi bilseniz bile, özelliklerinden birini ölçtüğünüzde ne yapacağını kesin olarak öngöremezsiniz.

Kuantum sistemlerinin bu iki özelliği, zaman dışı yasalar varsayımının yerine, doğada geleceğin geçmişe benzemesini sağlayacak şekilde işleyen bir öncüllük ilkesi bulunduğu hipotezini koymamıza imkân verir. Bu ilke, gerek duyulduğunda determinizmden faydalanabilmek için yeterlidir ama yeni özelliklerle karşılaşıldığında doğanın onlar için geçerli olacak yeni yasalar geliştirebileceğine de işaret eder.

Öncüllük ilkesinin kuantum fiziğinde nasıl işlediğine dair basit bir örnek verelim: Bir sistemin önce hazırlandığı sonra da ölçüldüğü bir kuantum süreci düşünün ve bu sürecin geçmişte birçok kez tekrarlandığını varsayın. Bu durum, size ölçümün geç-

mişteki sonuçlarından oluşan bir koleksiyon verir: sistem, bir soruya X kez evet, Y kez hayır yanıtını vermiş olsun. Bu durumda, o sürecin gelecekteki bir örneğinin vereceği sonuç, geçmişte elde edilen sonuçlar koleksiyonu içerisinden gelişigüzel bir şekilde seçilir. Şimdi de bu sistemin hakikaten yeni bir özelliğin kesin bir değer almasını sağlayacak şekilde hazırlandığını ve dolayısıyla elimizde herhangi bir öncül bulunmadığını farz edelim. Bu durumda ölçümün sonucu serbest olacaktır, çünkü geçmişteki herhangi bir şey tarafından belirlenmemiş olacaktır.

Bu fikir, doğanın deney sonuçlarını belirlemekte gerçekten serbest olduğu anlamına mı gelir? Kuantum sistemlerinin belirli bir bakımdan bir miktar serbestiye sahip olduğunu zaten biliyoruz. Buna Princeton'daki iki matematikçi John Conway ve Simon Kochen tarafından yakın dönemde ortaya atılan ve kanıtlanan bir teorem de ışık tutmaktadır. Buldukları sonuca verdikleri isim pek hoşuma gitmese de akılda kalıcı olduğu için kabul gördü: *serbest irade teoremi.*[5] Teorem, önce dolanık hâle getirilen, sonra ayrılan ve daha sonra da her birinin birer özelliği ölçülen iki atom (ya da başka bir kuantum sistemi) için geçerli. Teorem şöyle diyor: İki deneycinin, ellerindeki atomlar üzerinde hangi ölçümü yapacaklarını seçmekte bir bakımdan serbest olduklarını kabul edelim. Bu durumda, atomların ölçüme verdikleri yanıt da aynı bakımdan serbest olacaktır.

Bunun, anlaşılması zor olan serbest irade kavramı ile bir ilişkisi yoktur. Deneycilerin hangi ölçümleri yapacaklarını seçmekte serbest olduklarını söylerken, yaptıkları seçimin geçmişleri tarafından belirlenmediğini anlatmaya çalışıyoruz. Deneycilerin ve içinde yaşadıkları yaşamın geçmişine ilişkin ne kadar bilgi sahibi olursak olalım, bu bilgi yapacakları seçimi öngörmemizi mümkün kılmayacaktır. Bu bakımdan atomlar da serbesttir: geçmişlerine ilişkin ne kadar bilgi sahibi olursak olalım, bu bilgi özelliklerinden biri hakkındaki ölçümün sonucunu öngörmemizi sağlayamaz.[6]

Temel bir parçacığın, böyle dar bir bakımdan bile olsa, gerçekten serbest olduğu düşüncesini olağanüstü buluyorum. Bu du-

rum, ölçülen bir elektronun ne yapacağına bir nedene bağlı olarak karar vermediği anlamına gelir. Dolayısıyla herhangi bir küçük sistemin gelişimi, determinist veya algoritmik bir çerçeveyle tam olarak yansıtılamaz. Bu, hem heyecan verici hem de ürkütücüdür, çünkü atomların yaptığı seçimlerde gerçekten serbest (yani nedensiz) olduğu fikri, yeterli neden (doğaya sorabileceğimiz her sorunun yanıtının bir nedeni olması) şartını karşılamaz.

Kuantum mekaniği doğruysa doğanın ne kadar serbest olduğunu ölçebilir miyiz? Klasik mekanikte böyle bir serbestlik olmadığını biliyoruz, çünkü klasik mekanik geçmişe ilişkin bilgilerinize dayanarak geleceği tamamen öngörebildiğiniz, determinist bir doğa betimler. Klasik mekanikte, istatistik ve olasılık doğanın betimlenmesinde bir rol oynayabilir ama bu yalnızca bilgisizliğimizin bir yansımasıdır. Serbestliğe yer yoktur, çünkü kesin öngörülerde bulunmaya yetecek bilgiyi elde etmek daima mümkündür.

Conway ile Kochen'in teoremi, kuantum sistemlerinde bir ölçüde gerçek serbestlik olduğunu düşündürmektedir. Acaba doğada bundan da fazla serbestlik bulunmasına izin veren bir tür fizik olabilir mi? Bu soruyu kendi kendime sorduğumda yanıtlaması çok da zor olmadı. Yanıt verirken, bir kuantum sisteminin ne kadar serbestliğe sahip olabileceğini kesin biçimde tanımlayan, kuantum temelleri hakkında yapılmış yeni bir çalışmadan faydalandım.

Lucien Hardy, 2000 yılında Oxford Üniversitesi'ndeyken, Perimeter Kuramsal Fizik Enstitüsü'ne geçmesinden kısa süre önce, ölçüm sonuçlarının olasılıklarını öngören genel bir kuramlar sınıfı ortaya atmıştı. Bunlar yalnızca klasik mekanik ile kuantum mekaniğini değil, diğer birçok kuramı da kapsıyordu. Hardy'nin tek şartı, kuramların olasılık kavramını uygun bir şekilde kullanmaları ve yalıtılmış bir sisteme ya da iki veya daha fazla sistemin bir araya gelmesiyle oluşan bir sisteme uygulandıklarında akla uygun bir şekilde davranmalarıydı. Bu şartlar, Hardy'nin "makul aksiyomlar" adını verdiği kısa bir aksiyomlar ya da varsayımlar listesi ile ifade edilir.[7] Daha sonra bu makul aksiyomlar, kuramcılar tarafından geliştirilmiş ve değiştirilmiştir. Lluís Masanes ile Markus Müller'in, Hardy'nin aksiyomları üzerinde yaptığı geliş-

tirmeleri[8] kullanarak, bir kuramın ne kadar serbestliğe sahip olabileceğini kesin bir biçimde saptamayı başardım.

Serbestlik miktarı, bir sistemin geleceğine dair öngörülerde bulunmak için sistem hakkında ne kadar bilgiye ihtiyacınız olduğuyla ifade edilir. Bu bilgi, sistemin birçok özdeş kopyasını hazırlayıp her birine farklı sorular sorarak elde edilebilir. Söz konusu sorgulama sayesinde bulunduğumuz öngörüler yine de olasılığa dayalı olabilir ama bunlar mümkün olan en iyi öngörülerdir, çünkü sisteme ilişkin daha fazla gözlem yapmak hassasiyetlerini artırmayacaktır. Hardy'nin incelediği tüm sistemlerde, sistemin herhangi bir olası ölçüm karşısında nasıl davranacağını en iyi şekilde saptayabilmek için sonlu bir miktar bilgiye ihtiyacınız vardır. Mümkün olan en iyi öngörülerde bulunabilmek için sistem hakkında ne kadar çok şeyi ölçmeniz gerekiyorsa sistemin serbestliği de o kadar fazladır.

Bunun ne kadar bir serbestlik anlamına geldiğini görmek istiyorsak, öngörüde bulunmak için gereken bilginin miktarını, sistemin büyüklüğüne ilişkin bir ölçütle karşılaştırmamız gerekir. Yararlı bir ölçüt, sistemin bir deneyde sorulan bir soruya verebileceği yanıtların sayısıdır. En basit durumda yalnızca iki seçenek bulunur: Bir kuantum ayakkabısının rengini sorarsanız yanıt ya beyaz ya da siyah olacaktır. Topuk yüksekliğini sorarsanız ya yüksek ya da alçak yanıtını alırsınız.

Yukarıda, kuantum mekaniğinin her seçenek için ihtiyaç duyduğunuz bilgi miktarını azami seviyeye çıkardığını gösterdim. Yani kuantum mekaniğinin betimlediği evrende, sistemlerin davranış biçimlerine ilişkin olasılığa dayalı öngörülerde bulunabilirsiniz, ancak bu evrendeki sistemlerin determinizm karşısında sahip oldukları serbestlik, olasılıklar tarafından betimlenen herhangi bir fiziksel sistemin sahip olabileceği serbestlik kadardır. Bu nedenle kuantum sistemleri, serbest olmaları bakımdan azami serbestliğe sahiptirler. Öncüllük ilkesi ile bu *azami serbestlik ilkesini* birleştirdiğinizde, kuantum fiziğine ilişkin yeni bir ifade biçimi elde edersiniz. Bu ifade biçimi, zamanın gerçek olduğu bir çerçevenin dışında olamaz, çünkü temelinde geçmiş

ile gelecek arasındaki farktan yararlanır. Dolayısıyla zaman dışı ve determinist doğa yasalarının var olduğu fikrini, fiziğin açıklayıcı gücünü kaybettirmeksizin bir kenara koyabiliriz.

Kuantum sistemlerinin serbestliklerini azami seviyeye çıkardıkları sonucu, Hardy, Masanes ve Müller'in önceki çalışmalarının ışığında, neredeyse basit bir adım sayılabilir. Benim soruna getirdiğim yeni bakış açısı, zamanın gerçekliğiydi.

Bu fikrimi anlattığım zaman bazı arkadaş ve meslektaşlarımın ilk tepkisi kahkahalarla gülmek oldu. Elbette örneğin, ilk olaydaki serbestlikten başlayıp izleyen birkaç olaydan sonra birçok öncüle sahip oturmuş olaylara varan süreçte öncüllüğün nasıl güçlendiği gibi bazı ayrıntıların belirlenmesi gereklidir.[9] Ama ayrıntıların da ötesinde, öncüllük ilkesi önerisinin kulağa mantıksız gelen bir yanı da vardır. Bir sistem öncüllerini nasıl tanır? Sistem, öncül koleksiyonu içinden rastgele bir öncülü hangi mekanizma ile seçer? Görünüşe göre bu süreç, fiziksel bir sistemin geçmişteki kopyaları ile etkileşime girmesini mümkün kılan yeni bir etkileşim türü gerektirmektedir.

İlke, bunun nasıl gerçekleştiğini belirtmez; bu açıdan, kuantum mekaniğinin olağan ifade biçiminden daha iyi değildir. Eski ifade biçiminde ölçüm, birincil kavramlardandır; bu yeni ifade biçiminde ise aynı türden bir kuantum sistemi olmak (yani aynı biçimde hazırlanmış ve dönüştürülmüş olmak) birincil bir kavramdır. Fakat zaman dışı bir doğa yasalarının harekete ve değişime yol açacak şekilde etkide bulunduğunu söyleyen fikre ilişkin olarak da benzer sorular sorulabilir. Bir elektron, elektron olduğunu ve bu nedenle başka bir denkleme değil de Dirac denklemine tabi olduğunu nereden "bilir"? Bir kuark, ne tür bir kuark olduğunu ve kütlesinin ne kadar olması gerektiğini nereden "bilir"? Zaman dışı bir varlık örneğin, bir doğa yasası, nasıl zamanın içerisine uzanıp her elektronu tek tek etkiler?

Zaman dışı doğa yasalarının zamanın içinde etki ettiği fikrine alışığız ve artık bu fikri tuhaf bulmuyoruz. Ama yeterince uzaktan bakabilirseniz, bu fikrin aslında hiç de bariz olmayan bazı ciddi metafizik varsayımlara dayandığını görürsünüz. Öncüllük ilkesi

de metafizik varsayımlara dayanır ama bunlar zaman dışı doğa yasalarına inanmamızı sağlayan varsayımlar kadar tanıdık değildir.

Öncüllük ilkesinin işaret ettiği metafizik olağan dışı da olsa, bence kuantum kuramına ilişkin güncel fantastik yaklaşımların bazılarından, örneğin, gerçekliğimizin eşzamanlı olarak var olan sonsuz bir evrenler kümesinin bir elemanı olduğu düşüncesinden çok daha açıklayıcıdır. Kuantum kuramı söz konusu olduğunda çok garip bazı görüşleri benimsemeniz gerekir. Ama kendi garip görüşlerimizi seçmekte serbestiz, en azından deneyler bize kuantum kuramına ilişkin bir yaklaşımın diğerlerinden üstün olduğunu söyleyene kadar. Şundan eminim ki öncüllük ilkesi, sonuçları bizi kuantum mekaniğinin ötesindeki fiziğe götürebilecek yeni deney fikirleri üretmemizi sağlayacaktır.

Kuantum mekaniğinin de zaten yeni bir özelliğin nasıl davranacağına ilişkin öngörülerde bulunduğunu söyleyerek itiraz edebilirsiniz. Bu yeni fikir, o öngörülerle çelişiyor mu? Evet, çelişiyor ve başarısız olursa sebebi muhtemelen bu çelişki olacaktır. Bir kuantum bilgisayarında doğada daha önce ortaya çıkmamış yeni bir tür dolanık durum yarattığımızı varsayalım. Geleneksel kuantum kuramında, bu dolanık sistemin ölçüldüğünde nasıl davranacağını hesaplayabilirsiniz. Benim önerdiğim öncüllük ilkesi ise deneylerin bu öngörüleri doğrulamayabileceğini iddia eder. Bu iddia ise yeni tür dolanık durumların doğada yeni etkileşimlere ya da zaten mevcut olan etkileşimlerde şartlara-bağımlı değişikliklere yol açacağını söylemek demektir. Böyle yeni etkileşimler gözlenmediği gibi, etkileşimlerin şartlara-bağımlı olduğu da asla gözlenmemiştir; dolayısıyla şüpheci bir yaklaşım için her şey hazırdır.

Ama tarihimiz boyunca insan zekâsı nadiren yeni türde dolanık durumların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bunu nasıl yapacağımızı daha yeni öğreniyoruz; eğer bu yeni hipotez doğruysa, kuantum bilgisayarları ile yapılacak deneylerin şaşırtıcı sonuçları olabilir. Hiç olmazsa hipotezin yeni dolanık durumlar üreten kuantum cihazları ile yapılacak deneyler ile çürütülmesi mümkündür. Hipotez, yalnızca temel parçacık çiftleri arasında-

ki kuvvetleri bilmeniz halinde, ne kadar karmaşık olursa olsunlar tüm bileşik sistemlerin geleceklerini öngörebileceğinizi söyleyen indirgemeciliğin temel öğretilerinden biriyle de çatışmaktadır. Ama söz konusu indirgemecilik ihlâlleri küçüktür ve nadir görülür; bu yüzden kararı deneylere bırakmayı öneriyorum.

Bu yeni kuantum fiziği anlayışı, kozmolojik bir kuramın ölçütlerinden ikisini hayata geçirir. *Açıklayıcı kapalılık* ölçütünü (kısıtlı bir biçimde de olsa, yeni olaylarda gerçek serbestliğe izin veren bir özelliktir) karşılar. Öncüllük ilkesi, gelecekteki ölçümlerin sonucunun geçmişteki olaylar koleksiyonu tarafından belirlendiğini söyler. Bu olaylar gerçekti, bu nedenle yalnızca geçmişte gerçek olan şeylerin, gelecekte gerçek olacak şeyler üzerindeki etkisi söz konusudur. Ayrıca bu yeni anlayışın, yasaların evrimleşmesine yönelik ölçütü karşıladığı da açıktır ve bunu kışkırtıcı bir biçimde, öncülü olmayan ölçümlerin mevcut bir yasa tarafından yönetilmediğini iddia ederek yapar. Sonuçlar biriktikçe öncüller oluşur; yalnızca yeterli sayıda öncül oluştuğunda gelecekteki sonuçlar yasalara benzemeye başlar.

Doğada yeni durumlar ortaya çıktıkça, bunları yönetecek yeni yasalar da evrimleşir. Bu, gözlemlediğimiz ve Parçacık Fiziğinin Standart Modeli ile betimlediğimiz temel etkileşimlerin, Büyük Patlama'dan kısa bir süre sonra evren soğurken elektronlara, kuarklara ve bunların akrabalarına karşılık gelen durumların ilk kez belirmesi ve yeni yasaların "oturması" sonucunda meydana geldiğini akla getirir.

Bu yeni önerinin *yapmadığı* şey yeterli neden ilkesini karşılamaktır. Kuantum sistemlerinin gerçekten serbest iseler yani münferit sonuçlar belli değilse yeterli neden ilkesi bozulmuş demektir, çünkü bu durumda münferit bir deneyde alınan sonuç akılcı bir nedene dayanmayacaktır. Radyoaktif bir çekirdeğin bozunma süresinin veya kuantum mekaniğinin yalnızca olasılığa dayalı öngörülerde bulunduğu diğer durumlarda elde edilen sonuçların herhangi bir nedeni yoktur.

Bu yeni fikrin kaderi ne olursa olsun (ki her yeni spekülatif fikirde olduğu gibi başarısızlığa hazırlıklı olmalıyız) zamanın

gerçekliği hipotezinin ne kadar verimli olduğunu görebiliyoruz. Zamanın gerçekliği yalnızca metafizik bir spekülasyon değildir; yeni fikirlere ilham kaynağı olabilecek ve sağlıklı bir araştırma programına temel oluşturabilecek bir hipotezdir.

Görelilik ve Kuantum Arasındaki Savaş

Yeterli neden ilkesi, doğanın yaptığı her seçim için akılcı bir neden keşfetmeyi hedeflemesi nedeniyle fiziği tüm evren ölçeğine genişletme programının temel taşlarındandır. Münferit kuantum sistemlerinin serbest, nedensiz gibi görünen davranışları bu ilke için ciddi bir zorluk yaratmaktadır.

Yeterli neden ihtiyacı, kuantum fiziğinde de karşılanabilir mi? Bu sorunun yanıtı, kuantum mekaniğinin tüm evrene genişletilebilmesi halinde doğaya ilişkin mümkün olan en temel betimlemeyi mi sağlayacağına, yoksa sadece çok farklı bir kozmolojik kuramın kaba bir tahmininden mi ibaret olduğuna bağlıdır. Eğer kuantum kuramını tüm evrene genişletebilirsek, serbest irade teoremi kozmolojik ölçekte geçerli olacak demektir. Daha temel bir kuram olmadığını kabul ettiğimize göre, doğanın gerçekten serbest olduğu anlaşılır. Kuantum sistemlerinin kozmolojik ölçekte serbest olması, yeterli neden ilkesinin bir sınırı olduğuna işaret eder, çünkü kuantum sistemlerinin yaptığı sayısız serbest seçim için akılcı veya yeterli bir neden bulmak mümkün değildir.

Ama kuantum mekaniğini bu şekilde genişletmeyi önerdiğimizde, bir kuramı deneylerle kıyaslanabildiği sınırlı alandan çekip çıkartarak kozmolojik yanılgıya düşmüş oluyoruz. Kuantum fiziğinin yalnızca küçük alt sistemler için geçerli yaklaşık bir ku-

ram olduğu hipotezini incelemek daha ihtiyatlı bir yaklaşım olacaktır. Bir kuantum sisteminin ne yapacağını belirlemek için gereken eksik bilgi yine de evrende bir yerlerde mevcut olabilir ve küçük bir alt sistemin kuantum betimlemesini tüm evren hakkındaki bir kuramın içine yerleştirdiğimizde devreye girebilir.

Bir alt sistemi yalıtıp geri kalan her şeyi göz ardı ettiğimiz durumlarda kuantum fiziğinin ortaya çıkmasına sebep olan determinist bir kozmolojik kuram olabilir mi? Bu sorunun yanıtı evettir ama birazdan göreceğimiz gibi, ağır bir bedeli vardır.

Böyle bir kurama göre, kuantum kuramındaki olasılıklar yalnızca tüm evrene ilişkin bilgi eksikliğimizden kaynaklanır ve tüm evreni kapsayan seviyede bu olasılıklar yerlerini kesin sonuçlara bırakır. Kuantum belirsizlikleriyle evrenin küçük bir kısmını betimlemek için kozmolojik kuramın kesitini aldığımızda karşılaşırız.

Bu tür bir kurama, *gizli değişkenler* kuramı adı verilir, çünkü bu kuramlarda kuantum belirsizliklerini çözüme kavuşturan şey yalıtılmış bir kuantum sistemi üzerinde çalışan deneyciden gizlenen evren hakkındaki bilgilerdir. Daha önce ortaya atılan bu tip kuramların kuantum olgularına ilişkin öngörüleri, kuantum fiziğindeki öngörülerle örtüşmektedir. Dolayısıyla kuantum mekaniğindeki sorunların, en azından ilkesel olarak bu şekilde çözülebileceğini biliyoruz. Üstelik, eğer kuantum kuramını tüm evreni kapsayan bir kurama genişlettiğimizde determinizm geri geliyorsa gizli değişkenler münferit kuantum sisteminin daha kesin bir betimlemesinde değil, o sistem ile evrenin geri kalanı arasındaki ilişkide söz konusu olmaktadır. Öyleyse bu değişkenlere, *ilişkisel gizli değişkenler* adını verilebiliriz.

Önceki bölümde açıklanan azami serbestlik ilkesine göre, kuantum kuramı kendine özgü belirsizlikleri mümkün olduğu kadar fazla olan, olasılıklara dayalı bir kuramdır. Bu, bir başka şekilde şöyle de ifade edilebilir: determinizmi geri getirmek için bir atom hakkında ihtiyaç duyduğumuz ve o atom ile bütün bir evren arasındaki ilişkilerde kodlanmış durumda bulunan bilgi azami seviyededir. Yani evrendeki her parçacığın özellikleri, azami seviyede, o parçacık ile bir bütün olarak evren arasındaki giz-

li ilişkilere bağlanmıştır. Dolayısıyla kuantum kuramına anlam verme sorunu, bu kitaptaki diğer savların işaret ettiği yeni kozmolojik kuram arayışının merkezindedir.

Ödememiz gereken bedel şudur: Eşzamanlılığın göreliliğinden vazgeçerek evrenin her yerinde mutlak bir eşzamanlılık tanımının geçerli olduğu bir doğa resmine dönmemiz gerekir.

Bu noktada adımlarımızı dikkatle atmalıyız Görelilik kuramının başarılarına ters düşmek istemeyiz. Özel görelilik ile kuantum kuramının, kuantum alan kuramı adındaki başarılı evliliği de bunlardan biridir. Kuantum alan kuramı, Parçacık Fiziğinin Standart Modeli'nin temelini oluşturur ve birçok deneyin sonuçları tarafından doğrulanmış çok sayıda kesin öngörüde bulunur.

Ne var ki kuantum alan kuramı da sorunsuz değildir. Bu sorunlarda biri, kuramı kullanarak bir öngörü üretmek için sonsuz niceliklerle karmaşık bir oyun oynamanın gerekli olmasıdır. Üstelik kuantum alan kuramı, kuantum kuramındaki bütün kavramsal sorunları miras almış olmasına rağmen, bu sorunların çözümüne yönelik yeni bir öneride bulunmaz. Kuantum kuramının bu eski sorunları ile birlikte sonsuz değerlerden kaynaklanan yeni sorunlar, kuantum alan kuramının da daha derin, daha birleşik bir kuramın kaba bir tahmininden ibaret olduğunu akla getirir.

Dolayısıyla kuantum alan kuramının kazandığı başarılara rağmen, başta Einstein olmak üzere birçok fizikçi bu kuramı aşarak her münferit deneyi tamamen betimleyebilen daha derin bir kurama ulaşmak istemiştir. Gördüğümüz gibi hiçbir kuantum kuramı bunu yapamamaktadır. Bu yöndeki arayışlarda, daima kuantum fiziği ile özel görelilik arasında uzlaştırılamayan bir çatışma olduğu görülür. Zamanın fizik içerisindeki yeniden doğuşu hakkında kafa yorarken, bu çatışmayı anlamamız şarttır.



Kuantum kuramının tek bir deneyde olup bitenlere ilişkin herhangi bir resim sunmadaki başarısızlığını bir kusur değil bir meziyet olduğunu iddia eden ve Niels Bohr ile başlayan bir gele-

nek vardır. 7. Bölüm'de de belirtildiği gibi Bohr ustalıkla, fiziğin amacının böyle bir resim sunmak değil, atomik sistemlere ilişkin deneyleri nasıl kurduğumuzu ve bu deneylerden ne tür sonuçlar elde ettiğimizi birbirimize anlatabilmemizi sağlayacak bir dil yaratmak olduğunu öne sürmüştü.

Bohr'un yazılarının etkileyici ama inandırıcılıktan uzak buluyorum. Kuantum mekaniğinin fiziksel âlem "hakkında" değil, fiziksel âleme ilişkin sahip olduğumuz *bilgiler* hakkında olduğunu öne süren bazı çağdaş kuramcılara ilişkin düşüncelerim de aynı yönde. Bu kuramcılar, kuantum durumunun herhangi bir fiziksel gerçekliğe karşılık gelmediğini, bunun yerine sadece gözlemciler olarak bir sistem hakkında elde edebileceğimiz bilgiyi kodladığını iddia ediyor. Bunlar akıllı insanlar ve kendileri ile tartışmaktan zevk alıyorum ama bence bilimi hafife alıyorlar. Eğer kuantum mekaniği sadece olasılıkları öngörmeye yönelik bir algoritmadan ibaret ise elimizden daha iyisi gelmez mi? Ne de olsa münferit bir deneyde bir şeyler *oluyor*. Bir şey ve yalnızca o şey elektron ya da foton adını verdiğimiz gerçekliği oluşturuyor. Münferit bir elektronun özünü kavramsal bir dil ve matematiksel bir çerçeve içerisinde yansıtabilmemiz gerekmez mi? Belki de doğadaki her atom altı, sürece ilişkin gerçekliğin insanlar tarafından kavranabileceğini ve dil ya da matematik aracılığıyla ifade edilebileceğini garanti eden bir ilke yoktur. Ama en azından denememiz gerekmez mi? Bu yüzden ben, Einstein'a katılıyorum. Nesnel bir fiziksel gerçeklik olduğuna ve atomdaki bir enerji düzeyinden diğerine atlayan bir elektronun betimlenebilir bir şey yaptığına inanıyorum. Sonra da bu betimlemeyi bize sunabilecek bir kuram arıyorum.

İlk gizli değişkenler kuramı, Prens Louis de Broglie tarafından 1927 yılında, kuantum mekaniğinin son hâlini almasından kısa bir süre sonra düzenlenen Beşinci Solvay Konferansı adlı ünlü kuantum fiziği toplantısında sunulmuştur.[1] Kuramın ilham kaynağını, Einstein tarafından önerilen ve 7. Bölüm'de ele aldığımız dalga-parçacık ikilemi oluşturur. Prens Louis de Broglie'nin kuramı, dalga-parçacık açmazını son derece basit bir biçimde

çözer. De Broglie, hem gerçek bir parçacık hem de gerçek bir dalga olduğunu öne sürer. Her ikisi de somut varlığa sahiptir. Daha önce, 1924 tarihli doktora tezinde, dalga-parçacık ikileminin evrensel olduğunu, bu nedenle elektron gibi parçacıkların aynı zamanda birer dalga olduğunu öne sürmüştü. Prens Louis de Broglie'nin 1927 tarihli makalesinde, bu dalgaların su dalgaları gibi yayılarak girişime ve kırınıma uğradığı öne sürülür. Parçacık da dalgayı izler. Bilinen kuvvetlerin (elektrik, manyetizma ve kütleçekimi) yanı sıra parçacığı çeken kuantum kuvveti adında bir kuvvet daha bulunur. Bu kuvvet, parçacığı dalganın tepesine doğru çeker; bu nedenle ortalama olarak, parçacığın orada bulunma ihtimali daha kuvvetlidir, ancak bu ilişki olasılığa dayanır. Neden mi? Çünkü parçacığın hareketine nerede başladığını bilemeyiz. Parçacığın başlangıç konumunu bilmediğimiz için tam olarak nerede olacağını da öngöremeyiz. Bilmediğimiz gizli değişken, parçacığın kesin konumudur.

John Bell, daha sonra Prens Louis de Broglie'nin kuramının gözlenebilir niceliklere ilişkin bir kuram olan kuantum kuramının aksine, *olabilir* niceliklere ilişkin bir kuram olarak anılmasını önermiştir.[2] Deneyler sayesinde ortaya çıkan nicelikler olan gözlenebilir niceliklerin aksine, olabilir nicelikler daima mevcuttur. Prens Louis de Broglie'nin kuramında, hem parçacık hem de dalga birer olabilir niceliktir. Özellikle de kuantum kuramı tarafından kesin olarak öngörülemese bile, bir parçacığın daima bir konumu vardır.

Yine de Prens Louis de Broglie'nin parçacıkların da dalgaların da gerçek olduğunu öne süren kuantum yaklaşımı rağbet görmemiştir. Büyük matematikçi John von Neumann, 1932'de yayımladığı bir kitapta gizli değişkenlerin imkânsız olduğunu ispat etti.[3] Birkaç yıl sonra, Grete Hermann adında genç bir Alman matematikçi, von Neumann'ın ispatında büyük bir hata olduğunu gösterdi.[4] Anlaşıldığı kadarıyla von Neumann kanıtlamak istediği hususu doğru varsayma yanılgısına düşmüş ve bu varsayımı teknik bir aksiyom içerisinde gizleyerek kendisini de meslektaşlarını da yanıltmıştı. Ancak Hermann'ın makalesi dikkate alınmadı.

Hatanın yeniden keşfedilmesi yirmi yıl aldı. Amerikalı kuantum fizikçi David Bohm, 1950'lerin başında kuantum mekaniği üzerine bir ders kitabı yazdı.[5] Kuantum kuramının gizemleri hakkında kafa yorarken, varlığından haberdar olmadığı Prens Louis de Broglie'nin gizli değişkenler kuramını yeniden keşfetti. Yeni kuantum kuramını betimleyen bir makale yazdı, ancak makalesini yayımlanması için bir dergiye gönderdiğinde, von Neumann'ın gizli değişkenlerin imkânsızlığına ilişkin ünlü ispatı ile çeliştiği için reddedildiğini bildiren bir hakem raporu aldı. Bohm, kısa sürede ispattaki hatayı bularak bu hataya dikkat çeken bir makale kaleme aldı.[6] O zamandan beri, az sayıda uzman, günümüzde de Broglie-Bohm kuantum mekaniği yaklaşımı adıyla bilinen bu yaklaşım üzerinde çalışmaktadır; bu, kuantum kuramının temellerine yönelik olarak günümüzde halen aktif biçimde incelenen yaklaşımlardan biridir.

De Broglie-Bohm kuramı sayesinde, gizli değişkenler kuramlarının kuantum kuramındaki gizemlerin çözümüne yönelik olası birer seçenek olabileceklerini fark ettik. Çoğu özelliğinin tüm olası gizli-değişkenler kuramları için geçerli olduğu kanıtlandığından, bu kuram üzerindeki çalışmalar yararlı olmuştur.

De Broglie-Bohm kuramı ile görelilik kuramı arasında açık olmayan bir ilişki bulunur. Kuramın istatistiksel öngörüleri kuantum mekaniği ile uyumludur ve özel görelilikle, özellikle de eşzamanlılığın göreliliği ile bağdaştırılabilir. Ama kuantum mekaniğinin aksine, kuram istatistiksel öngörülerde bulunmaktan fazlasını yapar; her münferit deneyde neler olduğuna ilişkin detaylı bir fiziksel resim çizer. Zaman içerisinde gelişen dalga, parçacığın nereye gideceğini etkiler; bunu yaparken eşzamanlılığın göreliliğini ihlâl eder, çünkü dalganın parçacığın hareketini etkilerken izlediği yasa yalnızca tek bir gözlemcinin referans çerçevesinde doğru olabilir. Dolayısıyla de Broglie-Bohm gizli-değişkenler kuramını, kuantum olgularına ilişkin bir açıklama olarak kabul etmemiz hâlinde, tercih edilen bir gözlemci olduğuna ve bu gözlemciye ait saatlerin tercih edilen bir fiziksel zaman kavramını ölçtüğüne de inanmamız gerekir.

Tüm olası gizli değişken kuramlarının görelilikle böyle muğlak bir ilişkileri olduğu anlaşılmıştır.[7] Bu tür bir kuantum mekaniği ile uyuşan istatistiksel öngörüleri görelilik kuramı ile de uyuşacaktır. Ama münferit olaylara ilişkin daha ayrıntılı bir resim görelilik ilkesini ihlâl edecek ve ancak tek bir gözlemcinin bakış açısından yorumlanabilecektir.

De Broglie-Bohm kuramının bir büyük kusuru vardır, o da kozmolojik kurama dair ölçütlerimizden birini yani tüm eylemlerin karşılıklı olması şartını karşılayamamasıdır. Dalga, parçacığın nereye gideceğini etkiler ama parçacığın dalga üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Bu nedenle kuram, kozmolojik bir kuram olarak tatmin edici değildir. Fakat bu sorunu ortadan kaldıran alternatif bir gizli değişkenler kuramı bulunmaktadır.



Einstein'ın kuantum kuramının altında daha derin bir kuram yattığı görüşüne inanan biri olarak, öğrencilik günlerimden beri gizli değişkenler kuramları bulmaya çabaladım. Birkaç yılda bir diğer araştırmalarımı bir kenara koyup bu hayati sorunu çözmeyi denerim. Yıllar boyunca Princeton Üniversitesi'nden matematikçi Edward Nelson'ın kâğıda döktüğü bir gizli-değişkenler kuramını temel alan bir yaklaşım üzerinde çalıştım. Bu çabaların başarılı sonuçları oldu, ancak hepsinde yapay bir unsur bulunuyordu, çünkü kuantum mekaniğinin öngörülerini türetmek için bazı kuvvetlerin son derece hassas bir şekilde dengelenmesi gerekiyordu. Sonunda, 2006 yılında bu yapaylığın altındaki nedenleri açıklayan bir makale[8] yazdıktan sonra bu yaklaşımı terk ettim.

2010 yılının sonbaharı başlarında bir öğleden sonra, bir kafeye giderek defterimin boş bir sayfasını açtım ve kuantum mekaniğini aşmak için yaptığım birçok başarısız girişim hakkında kafa yormaya başladım. *Grup yorumu* adıyla bilinen bir kuantum mekaniği modeli hakkında düşünüyordum. Bu yorum, münferit bir deneyde neler olduğunu betimlemeye yönelik boş umu-

du bir kenara koyar ve bunun yerine deney sırasında *gerçekleşiyor olabilecek* her şeyden oluşan hayali bir koleksiyon betimler. Einstein'ın güzel bir şekilde ifade ettiği gibi: "Kuantum kuramı betimlemesini münferit sistemlere ilişkin tam bir betimleme olarak görme çabası, doğaya aykırı kuramsal yorumlara neden olur. Betimlemenin münferit sistemlere değil de sistem gruplarına (ya da koleksiyonlarına) atıfta bulunduğu şeklindeki yaklaşımın kabul edilmesi halinde, bu tür yorumlara hiç lüzum kalmaz."[9]

Bir hidrojen atomundaki protonun etrafında dönen tek bir elektronu ele alalım. Grup yorumu taraftarlarına göre, dalga tek tek atomlarla değil, atomların sanal kopyalarından oluşan bir koleksiyonla ilişkilidir. Bu koleksiyonun farklı üyelerinde, elektronların konumları farklıdır. Dolayısıyla hidrojen atomunu gözlemlediğinizde, bu sanal koleksiyon içerisinden gelişigüzel bir atom seçmiş gibi bir sonuç elde edersiniz. Dalga, elektronun tüm bu farklı yerlerde bulma olasılıklarını verir.

Bu fikir, uzun zamandır hoşuma gidiyordu ama birden gözüme tamamen saçma göründü. Sanal bir atom koleksiyonu gerçek bir atom üzerinde yapılan bir ölçümü nasıl etkileyebilirdi ki? Böyle bir süreç evrenin dışındaki hiçbir şeyin evrenin içindeki bir şeyi etkileyemeyeceği ilkesini ihlâl eder. O yüzden kendime bu sanal koleksiyonun yerine gerçek atomlardan oluşan bir koleksiyon koyup koyamayacağımı sordum. Gerçek olduklarına göre, bu atomlar evrende bir yerde mevcut olmalıydılar. Evrende gerçekten de epeyce fazla hidrojen atomu bulunur. Kuantum mekaniğinin grup yorumunda sözü geçen "koleksiyon", bu atomlardan oluşuyor olabilir miydi?

Evrendeki tüm hidrojen atomlarının birlikte bir oyun oynadıklarını hayal edin. Bu oyunda her atom diğer atomlardan hangilerinin benzer bir durumda bulunduğunu ve benzer bir geçmişe sahip olduğunu bilir. "Benzer" derken bu atomların olasılık açısından aynı kuantum durumu ile betimleneceğini söylemeye çalışıyorum. Kuantum âleminde iki parçacık özdeş tarihlere sahip olabilir ve böylece aynı kuantum durumu ile betimlenebilir, fakat konum gibi "olabilir" niceliklerine ilişkin kesin değerle-

ri birbirinden farklı olabilir. Bir atom benzer geçmişe sahip başka bir atomu tanıdığında, olabilir niceliklerinin kesin değerleri de dâhil olmak üzere tüm özelliklerini kopyalar. Bir atomun diğerinin özelliklerini kopyalayabilmesi için atomların birbirlerinin yakınında olması gerekmez; ikisinin de evrende bir yerlerde var olması yeterlidir.

Bu oyun hiç yerel değildir ama zaten biliyoruz ki tüm gizli-değişken kuramları kuantum fiziğinin yerel olmadığı gerçeğini ifade etmek zorundadır. Bu düşünce çılgınca görünse de sanal atom koleksiyonlarının doğadaki gerçek atomları etkilediği iddiası kadar çılgınca olmayabilir. Bu yüzden söz konusu düşünceyi takip edip nereye gittiğini görmeye karar verdim.

Kopyalanan özelliklerden biri, elektronun protona göre nerede bulunduğudur. Yani belirli bir atom, evrendeki diğer atomlara ait elektronların konumlarını kopyaladıkça, o atomdaki elektronun konumu oradan oraya sıçrayacaktır. Tüm bu sıçramaların sonucunda, belirli bir atomdaki elektronun nerede olduğunu ölçtüğümde, tüm benzer atomlar koleksiyonu içerisinden rastgele bir atom seçmişim gibi olacaktır. Böylece kuantum durumu, yerini benzer atomlardan oluşan bir koleksiyona bırakır. Modelin işlemesini sağlamak amacıyla kopyalama oyunu için kurallar geliştirerek atomu ilgilendiren olasılıkların ölçümlere tıpkı kuantum mekaniği kapsamındaki gibi tepki vermesini sağladım.[10]

Ayrıca beni son derece memnun eden bir şey de fark ettim: Ya bir sistemin evrende *hiç kopyası yoksa?* O zaman kopyalama oyunu devam edemez ve kuantum mekaniği üretilemez. Bu durum, kuantum mekaniğinin neden kediler, siz ve ben gibi büyük, karmaşık sistemler için geçerli olmadığını açıklar: Biz eşsiziz. Buna ilaveten, kuantum mekaniğini kediler ve gözlemciler gibi büyük şeylere uyguladığınızda karşılaşılan, eskiden beri süregelen çelişkileri de ortadan kaldırır. Kuantum sistemlerinin tuhaf özellikleri atomik sistemlerle sınırlıdır, çünkü evrende bunların birçok kopyası bulunur. Kuantum belirsizlikleri bu sistemler sürekli birbirlerinin özelliklerini kopyaladıkları için ortaya çıkar.

Buna, kuantum mekaniğinin *gerçek-grup yorumu* diyorum ama notlarımda geçen isim Toronto'daki bazı parklarda görülen yalnız bir albino sincabın onuruna "Beyaz Sincap" yorumudur. Tüm gri sincaplar birbirlerine oldukça benzediği için kuantum mekaniğinin bu sincaplar için geçerli olduğunu hayal edebilirsiniz. Birini ararken bir tane daha ve bir tane daha sincap görebilirsiniz. Ama bir an ağaç dalında tünerken gördüğünüz beyaz sincabın başka bir kopyası yok gibidir ve dolayısıyla bu sincap, kuantum mekaniğine tâbi değildir. Sizin ve benim gibi onun da evrendeki başka hiçbir şeyle paylaşılmayan ve başka hiçbir şeyden kopyalanmayan eşsiz özellikleri olduğu düşünülebilir.

Sıçrayan elektron oyunu, özel göreliliği ihlâl eder. Sıçramalar, keyfi büyüklükteki mesafeleri anında aşabilir, dolayısıyla geniş mesafelerle ayrılmış eşzamanlı olaylar kavramına ihtiyaç duyarlar. Bu da bilginin ışıktan hızlı aktarılmasını gerektirir. Bununla beraber, istatistiksel öngörüleri kuantum kuramının öngörülerini yansıtmaktadır, dolayısıyla görelilikle tutarlı hale getirilebilir. Ancak perde arkasına baktığınızda, tıpkı de Broglie-Bohm kuramında olduğu gibi, tercih edilen bir eşzamanlılık ve dolayısıyla tercih edilen bir zaman bulunmaktadır.

Betimlediğim her iki gizli-değişkenler kuramı da yeterli neden ilkesini karşılar. Bireysel olaylarda neler olup bittiğine ilişkin ayrıntılı bir resim sunarlar ve sundukları bu resim, kuantum mekaniğinin belirsiz gördüğü olgulara bir açıklama getirmekle birlikte, bunun yüksek bir bedeli vardır: görelilik kuramının ilkeleri ihlâl edilir.



Görelilik kuramının ilkeleriyle uyumlu bir gizli-değişkenler kuramı olabilir mi? Yanıtın hayır olduğunu biliyoruz. Öyle bir kuram olsaydı, serbest irade teoremini ihlâl ederdi, çünkü serbest irade teoremi, varsayımlarının sağlanması kaydı ile bir kuantum sisteminin ne yapacağını saptamanın mümkün olmadığını (dolayısıyla bir gizli değişkenler kuramı olamayacağını) söyler.

Bu varsayımlardan biri eşzamanlığın göreliliğidir.

John Bell'in yukarıda bahsedilen teoremi de yerel gizli-değişken kuramlarını saf dışı bırakır. Burada yerel sözcüğü, yalnızca ışık hızından yavaş haberleşme içerdikleri için kullanılmıştır.

Ama göreliliği ihlâl etmesi halinde, bir gizli değişkenler kuramı *mümkündür*.

Kuantum mekaniğinin öngörülerini istatistiksel seviyede kontrol etmekle yetindiğimiz sürece, karşılıklı ilişkilerin gerçekte nasıl kurulduğunu sormamız şart değildir. Anında iletişim kavramına ancak bilgilerin dolanık çiftler arasında nasıl aktarıldığını betimlemeye kalktığımızda ihtiyaç duyarız. Ancak kuantum kuramının istatistiksel öngörülerinin ötesine geçip bir gizli değişkenler kuramına ulaşmaya çalıştığımızda eşzamanlılığın göreliliği ile çatışmaya düşeriz.

Karşılıklı ilişkilerin nasıl oluşturulduğunu betimlemek istiyorsa bir gizli değişkenler kuramı, *tek bir gözlemcinin eşzamanlılık tanımını benimsemek zorundadır*. Bu da tercih edilen bir hareketsizlik kavramı yani hareketsiz bir gözlemci olduğu anlamına gelir. Bu da hareketin mutlak olduğuna işaret eder. Hareketin mutlak anlamı vardır, çünkü o tek gözlemciye (örneğin, o gözlemciye Aristoteles diyelim) göre kimin hareket ettiğini mutlak bir biçimde söyleyebiliriz. Aristoteles hareketsizdir. Hareket halinde gördüğü her şey gerçekten hareket etmektedir. İşte o kadar.

Başka bir deyişle Einstein yanılıyordu. Newton yanılıyordu. Galileo yanılıyordu. Hareketin göreliliği diye bir şey yoktur.

Önümüzdeki seçenekler bunlar. Ya kuantum mekaniği nihai kuram ve arkasına gizlendiği istatistiksel perdeyi aşıp daha derin bir betimlemeye ulaşmamız imkânsız ya da Aristoteles haklıydı ve tercih edilen bir hareket ve hareketsizlik kavramı var.

Zamanın Görelilikten Yeniden Doğuşu

ZAMANIN GERÇEKLİĞİNİN, EVRENİN kendi yasalarını nasıl seçtiğini anlamaya yönelik yeni yaklaşımların önünü açtığını ve kuantum mekaniğine ilişkin gizemlerine yeni çözümler getirmeyi mümkün kıldığını gördük. Ama önümüzde hâlâ özel ve genel göreliliğin blok-evren resmini destekleyen güçlü savlarından oluşan büyük bir engel var. Bu savlar, tek gerçekliğin evrenin zaman dışı bir bütün şeklindeki tarihi olduğunu söyler.[1]

Blok evren lehindeki savlar, özel görelilik kuramının bir parçası olan eşzamanlılığın göreliliğine dayanır (bkz. 6 Bölüm). Ama eğer zaman gerçekse yani bir şu an varsa, gerçek şu an ile henüz gerçek olmayan gelecek arasında tüm gözlemcilerin üzerinde anlaşmaya varabileceği bir sınır vardır. Bu, uzaktaki olayları, hatta tüm evreni kapsayan evrensel, fiziksel bir eşzamanlılık kavramına işaret eder. Bu kavrama, *tercih edilen evrensel zaman* adı verilebilir ("evrensel" sözcüğü burada zaman tanımının evrenin her yerinde geçerli olduğu anlamına gelir). Tercih edilen bir evrensel zaman olması gerektiğini söyleyen bir sav ile görelilik kuramı ilkelerinin buna izin vermediğini söyleyen bir sav, birbirleriyle doğrudan çatışma hâlindedir. Ayrıca önceki bölüm-

de de gördüğümüz gibi, tercih edilen evrensel zaman münferit kuantum sistemlerinin yaptığı seçimleri açıklayabilecek tüm gizli değişkenler kuramlarının ayrılmaz bir parçasıdır. Bu nedenle, yine önceki bölümde gördüğümüz gibi, eşzamanlılığın göreliliği ile yeterli neden ilkesi arasında da bir çatışma yaşanmaktadır.

Bu bölümün amacı, çatışmayı yeterli neden ilkesi lehine çözüme ulaştırmaktır. Bunu yapabilmek için eşzamanlılığın göreliliğinden vazgeçmeli ve tam aksini kabul etmeliyiz: yani tercih edilen bir evrensel zaman kavramı olduğunu kabul etmeliyiz. Neyse ki bunun için görelilik kuramını tahtından indirmemiz şart değil; kuramı yeniden ifade etmek yeterli olacak. Çözümün merkezinde yeni bir gerçek zaman kavramını ortaya koyan, yeni ve daha derin bir genel görelilik kuramı anlayışı yatmaktadır.

Tercih edilen bir evrensel zaman kavramı, evrene dağılmış bir grup gözlemci seçer ve zaman bu gözlemcilerin saatleri ile ölçülür. Bu, Einstein'ın özel görelilik kuramını ortaya atarak yıktığı Aristoteles'in hareketsizlik kavramını ya da 19. yüzyıl fiziğindeki esir kavramını andıran, tercih edilen bir hareketsizlik durumunun varlığına işaret eder. Einstein'dan önceki fizikçiler, esir kavramını gerekli görüyorlardı, çünkü ışık dalgalarının yayılabileceği bir ortama ihtiyaç vardı. Einstein, esiri ortadan kaldırmıştır, çünkü getirdiği eşzamanlılığın göreliliği ilkesi, esirin de hareketsizlik durumunun da olmamasını gerektirir.[2]

Burada yalnızca bir çatışmayla değil, keyif kaçıran bir durumla da karşı karşıyayız. Esirin ortadan kalkması, odaklanmış akıl yürütmenin tembel düşünce alışkanlıklarına karşı kazandığı önemli bir zaferdi. Dünya'yı Aristoteles'in anlattığı biçimde görmek çok kolaydı. Galileo ve Newton eylemsiz referans çerçevelerinin göreliliği fikrini yerleştirdi. Bu da cisimlerin nasıl hareket ettiğini izleyerek tercih edilen bir hareketsizlik durumunun saptanmasını imkânsız hâle getirdi. Ama hareketsizliğin doğal olduğu düşüncesi hâlâ fizikçilerin aklının bir köşesinde pusuda bekliyordu; kuramcılar ışığın yayılması için bir ortama ihtiyaç duyduğunda bu düşünce esire kök salabileceği bir yer sunuyordu. Yalnızca Einstein bu esir kavramını tamamen ortadan kaldır-

mak için gereken kavrayışa sahipti. Ne var ki tercih edilen evrensel zaman kavramına geri dönmek için nedenlerimiz var gibi görünmektedir. Bunun Einstein'ın esire karşı kazandığı zafere ters düşmesi, zamanın gerçekliğine ilişkin savları ciddiye almanın önünde psikolojik bir engel oluşturmaktadır ya da en azından benim için durum böyleydi.

Kuramın bu çatışmayı nasıl çözüme kavuşturabileceğini tartışmadan önce, deneylerin ne dediğine bir bakalım. Tercih edilen evrensel zaman kavramı, o tercih edilen zamanı ölçen saati taşıyan tercih edilen bir gözlemci olduğu anlamına gelir. Bu düşünce, hareketsiz olduğu varsayılan bir gözlemci ile sabit ama keyfi bir hızda hareket eden gözlemcileri herhangi bir deneyle ya da gözlemle birbirinden ayıramayacağımızı söyleyen eylemsiz referans çerçevelerinin göreliliği ilkesine ters düşer.

Dikkat edilmesi gereken ilk şey, evrenin gerçekten de tercih edilen bir hareketsizlik durumu seçecek biçimde düzenlenmiş olduğudur. Bunu biliyoruz, çünkü teleskoplarla etrafımıza baktığımızda gökadaların büyük çoğunluğunun kabaca aynı hızla her yönde bizden uzaklaştığını görüyoruz. Ama bu yalnızca tek bir gözlemci için doğru olabilir, çünkü uzayın derinliklerine doğru hızla bizden uzaklaşan bir gözlemci, önündeki giderek yaklaştığı gökadaların, kendi arkasında bıraktığı gökadalardan daha yavaş hareket ettiğini görecektir. Üstelik en azından yeterince geniş bir ölçekte konumlarının ortalaması alındığında, gökadaların uzayda düzgün şekilde dağıldığına dair kanıtlarımız bulunmaktadır: yani, evren hangi yöne bakarsak bakalım aynı görünmektedir. Bu olgulara dayanarak, uzaydaki her noktada tüm gökadaların her yönde aynı hızla kendisinden uzaklaştığını gören özel bir gözlemci olacağı sonucuna varabiliriz.[3] Demek ki gökadaların hareketleri, uzaydaki her nokta için tercih edilen bir gözlemci ve dolayısıyla tercih edilen bir hareketsizlik durumu seçmektedir.

Tercih edilen bir gözlemciler grubu belirlemenin bir başka yolu da kozmik mikrodalga fon ışımasından (KMF) yararlanmaktır. Bu tercih edilen gözlemciler, KMF'nin gökyüzünün her noktasından aynı sıcaklıkta geldiğini görür.[4]

Neyse ki iki tercih edilen gözlemci grubu çakışmaktadır. Gökadalar, ortalama olarak, KMF'nin tüm yönlerden aynı sıcaklıkta ölçüldüğü referans sisteminde hareketsizmiş gibi görünür. Yani evren tercih edilen bir hareketsizlik durumunu seçecek şekilde düzenlenmiştir. Ama bu durumun hareketin göreliliği ilkesi ile çatışması şart değildir. Bir kuram kendi çözümlerine uygun olmayan bir simetriye sahip olabilir. Tam aksine, kuramların çözümleri sıklıkla kuramlardaki simetrileri bozar. Temelde uzayda tercih edilen bir yön olmaması, rüzgârın bugün kuzeyden esmesine engel değildir. Evrenimiz, genel görelilik denklemlerinin tek bir çözümünü temsil etmektedir. Bu çözüm, kuramın bir simetriye sahip olduğu ilkesini ihlâl etmeksizin asimetrik olabilir, yani tercih edilen bir hareketsizlik durumunu içerebilir. Evren, simetriyi bozacak bir şekilde başlamış olabilir.

Öte yandan, neden evrenin tercih edilen bir gözlemci grubu seçmesine yol açacak özel bir durumda bulunduğunu da sormamız gerekir. Bu soru, evrenin neden bu kadar özel başlangıç koşullarına sahip olduğu sorusunun bir başka biçimidir. Genel görelilik kuramının tek başına yanıtlayamadığı bu soru evrende genel görelilik kuramının yansıtmadığı bir şey olduğuna dair bir başka ipucudur. Bu yüzden, evrendeki tercih edilen hareketsizlik durumunun daha derin bir şeyi temsil ettiği ihtimali dikkate alınmalıdır. Belki de bu derin şey bize genel göreliliğin altında yatan fizik hakkında bir şeyler söylemektedir.

Eğer evrende tercih edilen bir hareketsizlik durumunun var olması daha derin bir şeye işaret ediyorsa, bu durum başka tür deneylerde de karşımıza çıkmalıdır. Ama eylemsiz referans çerçevelerinin göreliliği ilkesi kozmolojik ölçekten daha küçük ölçeklerde son derece iyi test edilmiştir. Einstein'ın özel görelilik kuramının öngörülerini doğrulayan bol miktarda deneysel kanıt bulunmaktadır; çoğu, doğada tercih edilen bir hareketsizlik durumu olup olmadığını test eden deneyler olarak görülebilir.[5]

Demek ki gözlemler bize karışık bir mesaj vermektedir. En geniş ölçekte tercih edilen bir hareketsizlik durumu olduğuna dair kanıtlar vardır ve bunların evrenin başlangıç koşullarındaki özel

bir şeyle açıklanması gerekir. Ama daha küçük tüm ölçeklerde, elimizdeki kanıtlar görelilik ilkesinin geçerli olduğu yönündedir. Kısa bir süre önce bu açmaza ilişkin dâhice bir çözüm ortaya atıldı. Genel göreliliğin tercih edilen bir zaman kavramına sahip bir kuram olarak son derece güzel bir biçimde yeniden ifade edilebileceği ortaya çıktı. Bu yeni ifade biçimi, genel göreliliği anlamanın sadece başka bir yolu olmakla birlikte, tüm evrendeki saatlerin fiziksel olarak tercih edilen bir şekilde senkronize edilebileceğini göstermektedir. Üstelik bu tercih edilen senkronizasyonun seçimi, evrendeki maddenin ve kütleçekimsel ışımanın dağılımına bağlıdır; dolayısıyla Newton'un mutlak zamanına dönmeyi gerektirmediği gibi, herhangi bir yerel ölçüm ile keşfedilmesi de mümkün değildir. Dolayısıyla evrenin küçük alt sistemlerinde geçerli olan görelilik ilkesi ile de tamamen uyumludur.

Bakış açımızı böyle tersine çevirmeyi mümkün kılan kuram, şekil dinamiği adıyla bilinir.[6] Esas ilkesi, fizikte gerçek olan her şeyin nesnelerin şekilleriyle bağlantılı olduğu ve tüm gerçek değişimin bu şekillerdeki değişimlerden ibaret olduğudur. Temelde büyüklüğün hiçbir anlamı yoktur ve nesnelerin bir büyüklüğü varmış gibi görünmesi bir yanılsamadır.

Şekil dinamiği, 7. Bölüm'de yine kendisi tarafından ortaya atılan zaman dışı kuantum kozmolojisini özetlediğim Julian Barbour'un ileri sürdüğü bir dizi fikrin izlenmesiyle yaratılmıştır. Barbour, ilişkisel felsefenin önde gelen savunucularındandır ve şekil dinamiğine giden yol, Barbour'un fiziği mümkün olduğunca ilişkisel bir hale getirme ısrarı ile başlamıştır. Kilit adımların çoğu, geçen on yıl içerisinde Barbour tarafından, Niall Ó Murchadha ve birkaç genç meslektaşı ile birlikte atılmıştır ama son parçalar, 2010 yılının yazı ve sonbaharında Perimeter Enstitüsü'nde çalışan üç genç tarafından yerlerine konmuştur: bunlar, lisansüstü öğrencileri Sean Gryb ve Henrique Gomes ile doktora öğrencisi Tim Koslowski'dir.[7]

Görelilik kuramının temel fikirlerini biliyorsanız, şekil dinamiğini anlamanız da zor olmayacaktır, çünkü bu kuram görelilikten bir sonraki doğal adımdır. Eşzamanlılığın bazı özelliklerini

hatırlayalım: Birbirine komşu iki olayın eşzamanlı olarak meydana geldiğinden bahsetmek anlamlıdır. Bu olayları zaman içerisinde sıraya da koyabiliriz; bir olay, diğerinin nedeni olabileceğinden böyle yapmak akla da uygundur. Oysa birbirinden uzaktaki olayları sıraya koymaya çalıştığımızda, tüm gözlemcilerin üzerinde anlaşabileceği mutlak bir sıralama olmadığını fark ederiz. Bazı gözlemcileri için iki olay eşzamanlı olabilir; diğer gözlemciler için bir olay diğerinden önce meydana gelmiş gibi görünebilir.

Barbour, büyüklüğün de aynı şekilde davrandığını söyler. Eğer birbirine yakın iki nesne varsa bunları büyüklüklerine göre sıralamak akla uygundur: Eğer bir fareyi bir kutunun içine koyabiliyorsanız, farenin kutudan küçük olduğunu söylemek akla uygundur. Eğer elinizde iki futbol topu varsa bu topların aynı çapta olduğunu söylemek akla uygundur. Bütün bu karşılaştırmaların tüm gözlemcilerin üzerinde uzlaşmaya varabileceği fiziksel bir anlamı vardır.

Şimdi de yanımızdaki bir farenin komşu gökadadaki bir kutudan küçük olup olmadığını soralım. Bu soru hâlâ akla uygun mudur? Tüm gözlemcilerin üzerinde uzlaşabileceği bir yanıtı var mıdır? Sorun şudur: bu cisimler birbirilerinden çok uzakta olduğundan sığıp sığmayacağını görmek için fareyi kutuya koyamayız.

Soruyu yanıtlamak için kutuyu farenin bulunduğu yere götürerek farenin sığıp sığmadığını kontrol edebilirsiniz. Ama böyle yapmakla, farklı bir soruya yanıt vermiş oluruz, çünkü artık kutuyla fare aynı yerdedir. Kendi gökadamıza getirdiğimiz her şeyin büyüklüğünü artıran ve dolayısıyla farenin gözüyle aynı büyüklükteki bir kutunun büyüklüğünü de yolculuk sırasında fareyi içine alabilecek kadar artıran fiziksel bir etki olmadığından nasıl emin olabiliriz? Kutuyu olduğu yerde bırakıp oraya bir cetvel gönderebiliriz. Ama cetvelin tam aksi bir şekilde etkilenmeyeceğinden yani fareden uzaktaki kutuya giderken yolda küçülmeyeceğinden emin olabilir miyiz?

Bu, Barbour ile arkadaşlarının birbirilerinden uzaktaki cisimlerin boyutlarını karşılaştırmanın mantıklı olmadığını ileri sürmesine neden olan fikirlerden biridir. Şekilleri ise karşılaştıra-

bilirsiniz, çünkü şekiller bu tür keyfi değişikliklere tâbi değildir. Büyüklüğün göreliliğinin tek istisnası şudur: zamanın her bir anı içerisinde tüm evrenin sahip olduğu hacim değişmeden kalmalıdır. Bu fikri teknik olmayan bir dille açıklamak kolay olmamakla birlikte, şöyle bir açıklama getirebiliriz: eğer bir yerdeki her şeyi küçültürseniz, evrenin genel hacminin değişmeden kalmasını sağlamak için aynı anda başka bir yerdeki her şeyi aynı oranda büyüterek bu küçülmeyi telâfi etmeniz gerekir. Elbette, hacim evren genişledikçe zamanla hâlâ büyüyebilir.

Şekil dinamiği, büyüklükler söz konusu olduğunda yenilikçi bir model olsa da zaman konusunda gelenekçidir. Zaman tek bir hızda akar. Bu hız, evrenin her yerinde aynıdır ve değiştirmenize izin verilmez.

Genel görelilik kuramı aşağı yukarı bunun tam tersidir. Nesnelerin büyüklükleri sabittir ve onları hareket ettirdiğinizde de sabit kalır. Bu nedenle birbirinden uzaktaki cisimlerin boyutlarını karşılaştırmak anlamlıdır. Genel göreliliğin esnek yaklaştığı konu, zamanın akış hızıdır. Bizden uzaktaki bir saatin, bize yakın bir saate göre daha mı yavaş yoksa daha mı hızlı çalıştığını sormak anlamlı değildir, çünkü uzaktaki saatlerin hızlanıp yavaşlaması, tıpkı bir lunapark aynasındaki görüntü değişikliklerinde olduğu gibi, gözlemcilerin üzerinde anlaşamayacağı değişikliklerden biridir. Kol saatinizi uzaktaki bir saatle senkronize etseniz bile ayarları bozulabilir, çünkü hızlarının aynı kalması fiziksel olarak bir anlam ifade etmez.

Tek bir kelimeyle ifade etmek gerekirse genel görelilikte büyüklük evrenseldir ve zaman görelidir, şekil dinamiğindeyse zaman evrenseldir ve büyüklük görelidir. Ancak ilgi çekici nokta, bu iki kuramın birbirilerine eşdeğer olmasıdır, çünkü (burada açıklanması gerekli olmayan zekice bir matematik hilesiyle) zamanın göreliliğinin yerine büyüklüğün göreliliğini koyabilirsiniz. Yani evrenin tarihini iki şekilde betimleyebilirsiniz: genel görelilik diliyle ya da şekil dinamiği diliyle. İki betimlemenin fiziksel içerikleri ve gözlenebilir bir niceliğe ilişkin tüm sorulara verdikleri yanıtlar aynı olacaktır.

Evrenin tarihi, genel göreliliğin diliyle betimlendiğinde, zamanın tanımı keyfidir. Zaman görelidir ve birbirinden uzak yerlerde saatin kaç olduğunu sormanın bir anlamı yoktur. Ama evrenin tarihi, şekil dinamiği diliyle betimlendiğinde, evrensel bir zaman kavramı ortaya çıkar. Bunun karşılığında ödediğiniz bedel, büyüklüğün göreli hale gelmesi ve birbirinden uzaktaki nesnelerin büyüklüklerini karşılaştırmanın anlamını yitirmesidir.

Kuantum kuramındaki dalga-parçacık ikilemi gibi, bu da fizikçilerin ikilem adını verdiği durumlara, yani tek bir olguya yönelik eksiksiz ama birbiriyle uyumsuz iki farklı betimleme bulunması durumuna bir örnektir. Burada bahsedilen ikilem, modern kuramsal fiziğin en derin keşiflerinden birisidir. Juan Maldacena tarafından 1995 yılında, sicim kuramı bağlamında farklı bir biçimde[8] önerilmiş, daha sonra bu alandaki en etkili fikirlerden biri olmuştur. Bu satırları yazdığım sırada, şekil dinamiği ile Maldacena'nın ikilemi arasında tam olarak nasıl bir ilişki olduğu henüz belli değildir ama bir bağlantı olması muhtemel görünmektedir.[9]

Genel görelilikte tercih edilen bir zaman olmasa da ikili kuramda böyle bir zaman vardır. İki kuramın birbirinin yerine geçebilmesinden faydalanarak şekil dinamiği dünyasındaki zamanı genel görelilik dünyasına aktarabiliriz. İşte bu bağlamda zaman, denklemler içerisinde gizlenmiş bir tercih edilen zaman şeklinde karşımıza çıkar.[10]

Bu evrensel zaman kavramı, uzay ve zaman içerisindeki her olay için tercih edilen bir gözlemci olduğu ve söz konusu evrensel zamanın akışının bu gözlemcinin saatine göre ölçüldüğü anlamına gelir. Ancak bu özel gözlemciyi, küçük bir bölge içerisinde yapılan herhangi bir gözlemle seçmek mümkün değildir. Özel evrensel zamanın seçimi, maddenin evrende nasıl dağıldığına bağlıdır. Bu özellik, evrenden daha küçük ölçeklerde deneylerin görelilik ilkesine uymasıyla da tutarlıdır. Dolayısıyla şekil dinamiği, görelilik ilkesinin deneysel başarılarını evrimleşen yasalara ilişkin kuramların ve kuantum olgularını açıklamaya yönelik gizli değişkenlere ilişkin kuramların gerektirdiği evrensel zaman ihtiyacıyla uzlaştırmayı başarır.

Vurguladığım gibi, ölçekleri genişletip daraltırken değişmesine izin verilmeyen tek nicelik, belirli bir an içerisinde evrenin sahip olduğu genel hacimdir. Bu, evrenin genel büyüklüğünü ve genişlemesini anlamlı kılar ve evrensel bir fiziksel saat olarak düşünülebilir. Zaman yeniden keşfedilmiştir.

Uzayın Ortaya Çıkışı

Doğanın en gizemli unsuru gözlerimizin önünde durmaktadır. Hiçbir şey uzaydan daha sıradan değildir ama yakından incelendiğinde ondan daha gizemli başka bir şey de yoktur. Zamanın gerçek olduğuna ve doğaya ilişkin temel bir betimleme için zorunlu olduğuna inanıyorum. Ama uzayın sıcaklık ve basınç gibi bir yanılsama olduğunun anlaşılacağını da düşünüyorum. Geniş ölçekte uzay, cisimlere ilişkin izlenimlerimizi düzenlemenin iyi bir yolu olmakla birlikte, sadece doğayı bir bütün olarak algılama sırasında ortaya çıkan kaba bir yoldur.

Görelilik kuramı, uzayı zaman ile birleştirmiş, hem uzayı hem de zamanı dört boyutlu bir gerçekliği parçalara ayırmanın öznel birer yolu olarak gören blok-evren resmine yol açmıştır. Zamanın gerçekliği hipotezi, zamanı bu birleştirmenin getirdiği yapay kısıtlamalardan kurtarır. Zamana ilişkin fikirlerimizi, zamanın uzaydan çok farklı olduğu anlayışı temelinde geliştirebiliriz. Zaman ile uzayın bu şekilde birbirinden ayrılması, uzayı da özgür bırakarak doğasının daha iyi anlaşılmasına giden yolu açar. Bu bölümde de göreceğimiz gibi, bu yaklaşım bizi, kuantum mekaniği seviyesinde uzayın hiç de temel olmadığını, aksine daha da derin bir düzenden ortaya çıktığını söyleyen devrimsel bir anlayışa götürür.

Günlük yaşamda karşılaştığımız nesnelerin "yakın" ve "uzak" şeklinde düzenlenmiş olması, gerçekliğin iki ana özelliğinin bir

sonucudur: uzayın varlığı ve bizi etkileyebilmeleri için cisimlerin yakınımızda bulunmalarının gerekli olması (fizikçilerin yerellik dediği özellik). Doğa, tehlikeler ya da fırsatlar teşkil eden şeylerle doludur ama çoğu zaman bunların büyük kısmı umurunuzda olmaz. Neden mi? Çünkü sizden uzaktadırlar. Okyanusun diğer ucundaki ülkelerde yaşayan kaplanlar mümkün olsaydı sizi bir dakikada yiyebilirdi ama yakınınızda olmadıklarına göre endişe etmeniz yersizdir. Bu, uzayın bize hediyesidir; hemen her şey bizden uzaktadır ve şimdilik göz ardı edilebilir.

Çok çeşitli nesneler barındıran ancak uzayın sağladığı bu düzenden yoksun bir dünya hayal edin. Her şey her an diğer her şeyi etkileyebilirdi. Cisimleri birbirinden ayıran bir uzaklık olmazdı.

Duyularımız sayesinde yakınımızdaki şeylerin farkındayız. Ama yakınımızda çok az şey vardır. Uzayın bir özelliği, size en yakın yerlerde çok fazla şey bulunamamasıdır. Bu, uzayın az sayıda boyuta sahip olmasının bir sonucudur. Hemen yanınızdaki evlerde kaç komşunuz olduğunu düşünün. Biri sağınızda diğeri de solunuzda olmak üzere yalnızca iki aile. Peki, sizin evin çevresinde kaç komşunuz olabilir? İki aile yanlarınızdaki evlerde, bir aile caddenin karşısında, bir diğer aile de evinizin arkasında olmak üzere toplam dört aile. Eğer bir apartmanda yaşıyorsanız en yakın komşularınızın sayısı altıya çıkar, çünkü alt katta yaşayanlar ile üst katta sabahın üçüne kadar televizyon seyreden üniversiteli gençler de vardır. En yakın komşularınızın sayısı, boyutların sayısıyla doğru orantılı biçimde artar: bir boyutta iki, iki boyutta dört, üç boyutta altı. İlişki gayet basittir. Komşu sayısı, boyut sayısının iki katıdır.

Demek ki elli boyutlu bir uzayda yaşıyor olsaydık, en yakın komşularımızın sayısı yüz olabilirdi. Üç boyut içerisinde sıkışıp kaldığımıza göre, bir binada yüz aileyle birlikte yaşamak istiyorsak binanın büyük bir apartman olması gerekir ve çoğu aile yakın komşumuz olmayacaktır. Üç boyutlu uzayda, hiç tanışmadığımız bazı komşularımız vardır.

Bu arada yeri gelmişken söyleyeyim: bu husus, farklı fikirlere ve ilgi alanlarına sahip insanlar arasında tesadüfi etkile-

şim fırsatlarını mümkün olduğunca artırmak istediğimiz bilimsel enstitü binalarını tasarlarken bir sorun oluşturur. Perimeter Enstitüsü, yedi bilim insanı ile ilk açıldığında böyle bir sorun yoktu; şimdi yüz kişiyi aştığımız için ciddi bir zorluk yaratıyor. Kuramsal fizikçiler olarak Enstitü büyüdükçe binadaki boyutların sayısını artırmak aklımıza gelmedi değil ama mimarları ikna edemedik.[1]

Gerçek şu ki az sayıda boyuta sahip bir dünyada mahsur kalmış durumdayız. Bizi kaplanlardan, uykusu kaçan televizyon sahibi komşulardan ve diğer yaratıklardan koruyan, her şeyden önce işte bu durumdur; ama karşılaştığımız fırsatları artırma çabalarımızın önündeki birincil engel de yine budur.

Teknoloji gelişmemişken, Dünya yüzeyinin iki boyutlu olması insanları nispeten birbirinden yalıtıyordu. Çoğu insan, hayatları boyunca yalnızca yürüme mesafesindeki birkaç yüz kişiyle tanışabiliyordu. Ellerinden geleni yapıyor, komşu köylerle etkileşimi artırmak için şölenler ve festivaller düzenliyorlardı (tıpkı bilim insanları gibi) az sayıda bazı girişken tüccar da yurt dışına gidiyordu. Ama uzay, hemen hepimizin birbirimize yabancı kalmasına neden oluyordu.

Şimdi ise teknolojinin düşük boyutlu bir uzayda yaşamanın getirdiği sınırlamaları kaldırdığı bir dünyada yaşıyoruz. Yalnızca cep telefonlarının etkisini düşünün. Cep telefonumu elime alıp anında istediğim hemen herkes ile konuşmaya başlayabilirim, çünkü gezegendeki 7 milyar kişiden 5 milyarının cep telefonu var. Bu teknoloji aslında uzayı ortadan kaldırmıştır. Cep telefonu açısından baktığımızda, neredeyse tüm insanların en yakın komşumuz olduğu 2,5 milyar boyutlu bir uzayda yaşıyoruz.

Elbette, internet de aynı şeyi yapmıştır. Bizi birbirimizden ayıran uzay, esasen herkesi birbirine yakınlaştıran bir bağlantılar ağı sayesinde ortadan kalkmıştır. Bu sayede daha yüksek boyutlu bir uzayda yaşıyor gibiyiz. Çoğumuzun neredeyse tamamen o yüksek boyutlu uzayda yaşamayı tercih edebileceği bir dünyaya doğru hızla ilerliyoruz. Tek ihtiyacımız olan, örneğin, cep telefonlarının aradığınız kişinin hologramını size, sizin ho-

logramınızı da onların olduğu yere yansıtabilmesi için sanal gerçekliğin biraz daha gelişmesi.

Sınırsız bağlantı imkânı sunan yüksek boyutlu bir dünyada, üç boyutlu fiziksel dünyadakinden çok daha fazla seçenek ile karşılaşırsınız. Kablolarla örülmüş dünyamızın karşılaştığı zorlukların büyük kısmı bu çok geniş imkânlar denizinden kaynaklanır ve hızla artan sosyal medya sitelerinin çoğu bu imkânlardan istifade etmek ve onları yönetmek için tasarlanmıştır.

Uzayın rol oynamadığı bu yüksek boyutlu dünyada büyüyen bir çocuk düşünün. Bu çocuk içinde yaşadığı Dünya'yı, akışkan ve dinamik bir bağlantılar sistemi sayesinde herkesin diğer herkesten yalnızca bir adım uzakta olduğu devasa bir ağ olarak görecektir. Şimdi, birinin fişi çektiğini düşünün. Elektrik kesilir ve insanlar kendilerini daha kısıtlı, daha az uyarıcıya sahip bir ortamda bulurlar. Aslında üç boyut içerisinde yaşadıklarını ve uzayın insanları birbirinden ayırdığını keşfederler. Komşularının sayısı 5 milyardan bir avuç dolusu insana iner ve hemen herkes bir anda birbirinden çok uzaklaşır.

Bu resim, bazı fizikçilerin günümüzde uzay hakkında nasıl düşündüklerini gösteren bir benzetmedir. Biz (evet, ben de bu grup içerisindeyim) uzayın bir yanılsama olduğuna ve doğayı biçimlendiren gerçek ilişkilerin, internet veya cep telefonu şebekelerini andıran dinamik bir ağ oluşturduğuna inanıyoruz. Uzay yanılsamasına düşmemizin nedeni, olası bağlantıların çoğunun kapalı olması ve bu nedenle her şeyin biraz uzağa itilmesidir.

Bu resim, uzayı değil zamanı temel kabul eden bir grup kuantum kütleçekimi yaklaşımından kaynaklanır. Bu yaklaşımlar temel bir kuantum yapısı, tanımında uzaya ihtiyaç duyulmayan bir yapı ortaya atar. Buradaki düşünce, tıpkı atomlar arası fizikten termodinamiğin ortaya çıkması gibi, uzayın da böyle ortaya çıkan bir özellik olduğudur. Bu gibi yaklaşımlar arka plandan bağımsızdır, çünkü sabit bir arka plan geometrisi bulunduğunu varsaymazlar. Aksine, temel kavramları kendi içinde, uzaya atıfta bulunmadan tanımlanan bir grafik ya da ağdır.

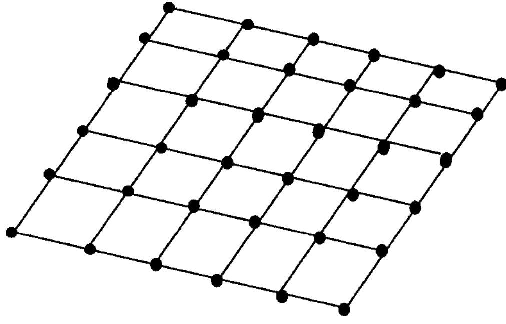
Bu yaklaşımlar arasında ilk geliştirilen, *nedensel dinamik üçgenleme* adıyla bilinen yaklaşım olup, Jan Ambjørn ile Renate Loll tarafından ortaya konulmuş ve çalışma arkadaşları ile birlikte geliştirilmiştir.[2] Ardından, Fotini Markopoulou'nun bulduğu[3] ve çalışma arkadaşları ile birlikte incelediği[4] *kuantum grafiği* gelir (doğadaki temel varlıkların grafikler olduğunu ileri sürdüğünden bu adı almıştır). Az önce örnek gösterdiğim, uzayın bir ağdaki bağlantıların kapanması sonucunda ortaya çıktığını söyleyen sezgisel resim, en iyi bu yaklaşıma uymaktadır. Temel kabul edilen evrensel bir zamana sahip ama uzayın ortaya çıkmadığı üçüncü bir yaklaşım da Petr Horava tarafından ortaya konmuştur.[5] Matris-modeli yaklaşımları adıyla bilinen bazı sicim kuramı yaklaşımları da benzer şekilde betimlenebilir.[6]

Zamanı temel kabul eden bu yaklaşımlar, blok evren resmindeki gibi bir bütün olarak uzay-zamanın, uzayı da zamanı da temel unsur kabul etmeyen daha temel bir betimlemeden ortaya çıkması gerektiğini ileri süren arka plandan bağımsız önceki yaklaşımlardan farklıdır. *Halka kuantum kütleçekimi, nedensel kümeler* ve diğer bazı sicim kuramı yaklaşımları bu grup içerisinde yer alır.

Her grup yaklaşımın başarıları ve başarısızlıklarından çıkartılabilecek dersler vardır. Söz konusu başarı ve başarısızlıklar, bu bölümde anlatılacak hikâyeyi oluşturmaktadır.

Birçok kuantum kütleçekimi yaklaşımında karşılaştığımız yararlı bir benzetme, uzayı sürekli değil, ayrık noktalardan oluşan bir tel örgü şeklinde hayal etmektir (bkz. Şekil 13). Parçacıklar, tel örgünün düğüm noktalarında bulunur ve en yakın komşularına sıçrayarak hareket eder. İki parçacık, yalnızca komşu iseler birbirleri üzerinde bir kuvvet uygular veya etkide bulunur. Eğer tel örgü az boyutlu ise etkileşime girebilen parçacıkların sayısı azdır; apartman komşularından bahsederken söylediğimiz gibi, boyut sayısı arttıkça etkileşime girebilen parçacıkların sayısı da artar.

Işığı, tel örgü boyunca bir komşudan diğerine sıçrayarak hareket eden fotonlar olarak düşünebiliriz. Bir fotonu uzaktaki bir parçacığa göndermek birçok sıçrama gerektirir ve bu nedenle zaman alır.



Şekil 13: Noktalardan oluşan bir tel örgü olarak uzay. Bir parçacık yalnızca tek bir düğümde bulunabilir ve hareket, düğümler arasında sıçramak anlamına gelir.

Şimdi, çok daha fazla bağlantıya sahip bir ağda yer alan bir dünya düşünün. Ağ içerisinde bağlantı kurmak için daha az adım gerektirdiğinden her şey birbirine daha yakındır ve bu yüzden ağın herhangi iki düğümü arasında bir sinyal göndermek daha az zaman alır.

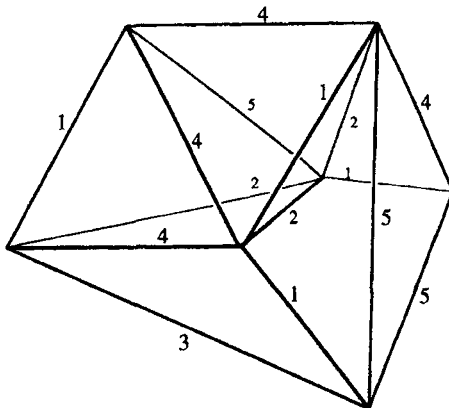
Yeni kozmoloji ilkelerimizden biri, hiçbir şeyin etkiye maruz kalmadan etkide bulunmaması gerektiğini söyler. Öyleyse eğer ağ, parçacıklara nasıl hareket edeceklerini söylüyorsa parçacıkların bulundukları yerin de ağı değiştirmesi gerekmez mi? Bu durumda, yaklaşımın doğaya ilişkin olarak ortaya koyduğu resim, birbirine bağlı insanlardan oluşan kendi dünyamızdan çok da farklı olmayacaktır. Doğa, dinamik bir ilişkiler ağıdır; bu ağ üzerinde bulunan şeyler de ağın yapısının kendisi de evrime tâbidir. Arka plandan bağımsız kuantum kütleçekimi yaklaşımları, doğayı bu şekilde kabul eder.

Halka kuantum kütleçekimi kuramı, arka plandan bağımsız kuantum kütleçekimi yaklaşımlarının en eskisi ve en gelişmişidir; bu yüzden hikâyeye onunla başlayalım. Halka kuantum kütleçekimi, uzayı dinamik bir ilişkiler ağı olarak betimler. Uzayın geometrisine ilişkin tipik bir kuantum durumu bir grafik (yani düğümler ya da köşeler ile onları birleştiren kenarlardan oluşan bir şekil) olarak gösterilebilir (bkz. Şekil 14). Tüm kenarlar

(bunlar düğümler arasında bir tür temel ilişki bulunduğunu ifade eder) birbirine bağladıkları düğümler arasındaki ilişkiyi tanımlayan etiketler taşır. Bu etiketler basit tamsayılar olarak görülebilir, her kenarı bir tamsayı etiketler. (Düğümlerin de etiketleri vardır ama bu etiketleri betimlemek daha karmaşıktır; bunlarla okuyucunun aklını karıştırmayacağım.)

Kuantum fiziğinde, atomun enerjisinin kuantize olduğunu ve yalnızca belirli miktarda enerjiye sahip belirli durumların kesin bir enerji değeri taşıdığını hatırlayın. Halka kuantum kütleçekimine göre, uzaydaki bölgelerin hacimleri de kuantizedir; yalnızca belirli hacim değerleri taşıyabilirler. Aynı şekilde, yüzeylerin alanı da kuantizedir.[7] Halka kuantum kütleçekimi, hacim ve alan değerlerine ilişkin kesin öngörülerde bulunur. Bu öngörülerin potansiyel olarak gözleyebileceğimiz sonuçları vardır. Örneğin, küçük kara deliklerden yayıldığını gözlemleyebileceğimiz ışımanın tayfı hakkında kesin öngörüler getirirler.[8]

Bir parça çeliği ele alalım: örneğin, bir dikiş iğnesini. Oldukça pürüzsüz görünür ama biliyoruz ki düzenli bir şekilde sıralanmış atomlardan oluşmuştur. Atomların bulunduğu ölçeğe indiğimizde metalin pürüzsüzlüğü, yerini birbirine düzenli bir şekilde bağlanmış ayrık birimlerden, yani atomlardan oluşan bir resme bırakır. Uzay da benzer şekilde "pürüzsüz" ya da sürekli gö-

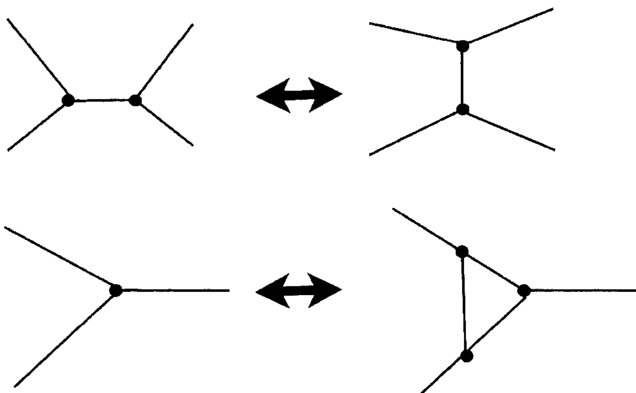


Şekil 14: Uzay geometrisinin grafik olarak gösterilen tipik bir kuantum durumu.

rünür ama eğer halka kuantum kütleçekimi doğruysa, uzay da ayrık birimlerden oluşmaktadır; bunları uzayın "atomları" olarak düşünebiliriz. Planck ölçeğinde gözlem yapabilseydik, uzayın pürüzsüzlüğünün böyle bir resme dönüştüğünü görecektik.

Daha önce gördüğümüz gibi, genel görelilikte uzayın geometrisi dinamiktir. Zaman içerisinde, hareket eden maddeye ya da yayılan kütleçekimi dalgalarına tepki vererek değişir. Ama eğer geometri, Planck ölçeğinde gerçekten kuantize olmuşsa, uzayın geometrisindeki değişimler bu ölçekte meydana gelen değişimlerden kaynaklanmalıdır. Örneğin, uzayın kuantum geometrisinde bir kütleçekim dalgasının geçişine karşılık gelen salınımlar olmalıdır. Halka kuantum kütleçekiminin zaferlerinden biri de genel görelilikte Einstein denklemleriyle verilen uzay-zaman dinamiğinin gerçekten de grafiklerin zaman içerisinde[9] nasıl değişeceğini belirleyen basit kurallar biçiminde kodlanabilir olmasıdır. Bu kurallar Şekil 15'te gösterilmektedir.

Einstein denklemlerinin böyle grafiklerin nasıl değişeceğini gösteren kurallar biçiminde kodlanması iki yoldan yapılabilir. Einstein'ın kuramından yola çıkarak klasik kuramı, kuantum kuramına dönüştüren bir yöntem izleyebilirsiniz. Bu yöntem, birçok farklı kuram üzerinde geliştirilmiş ve test edilmiştir. Onu genel göreliliğe uygulamak teknik bakımdan zor olsa da



Şekil 15: Halka kuantum kütleçekiminde, grafiklerin zamanla nasıl değiştiğini belirleyen kurallar. Şekilde gösterildiği gibi, her hareket grafiğin küçük bir kısmını etkileyebilir.

doğru bir şekilde yapıldığında grafiklerin zamanla nasıl değişeceğine ilişkin kesin kurallara sahip, burada betimlediğimiz resmi oluşturur. Bu nedenle halka kuantum kütleçekimine, genel göreliliğin "kuantizasyonu" diyoruz.[10]

Alternatif olarak, grafiklerin değişimini yöneten kuantum kurallarından yola çıkarak, klasik genel görelilik kurallarını bu kuantum kurallarının kaba bir tahmini olarak türetip türetemeyeceğinizi de sorabilirsiniz. Bu, suyun akışını tarif eden denklemleri, suyu oluşturan atomların izlediği temel yasalardan faydalanarak türetmeye benzer. Söz konusu işlem, klasik kuramı kuantum kuramının klasik limitinden türetmek olarak bilinir. Zor bir işlemdir ama yakın dönemde halka kuantum kütleçekimi bağlamında bazı olumlu sonuçlar elde edilmiştir.[11] Bahsettiğim sonuçlar, kuantum uzay-zamanına yönelik spin-köpük modeli olarak bilinen bir uzay-zaman yaklaşımından faydalanır; bu yaklaşım, uzay geometrisinin altında yatan ağı, uzayı ve zamanı kapsayan daha büyük bir ağın bir parçası olarak kabul eder. Dolayısıyla spin-köpük yaklaşımı, uzay ve zamanı tek bir yapı altında birleştiren blok evren resminin kuantum versiyonunu verir. Özellikle etkileyici olan şey, genel göreliliğin spin-köpük modellerinden ortaya çıktığını gösteren birkaç bağımsız sonuç olmasıdır.

Kuantum geometrisi resmine, maddeyi de kolayca ekleyebiliriz. Hikâye, tel örgü modelindeki gibidir, ancak bu sefer tel örgü değişebilir. Düğüm noktalarına, yani köşelere parçacıklar koyabiliriz. Bunlar, aynı tel örgü modelinde olduğu gibi, düğümden düğüme kenarlar boyunca sıçrayarak hareket eder. Yeterince uzaktan bakarsanız düğümleri ya da grafikleri değil, yalnızca yaklaşık olarak sundukları pürüzsüz geometriyi görürsünüz. Bu durumda parçacık uzayda hareket ediyormuş gibi görünür. Dolayısıyla belki de bir topu attığımızda aslında topu oluşturan atomlar bir uzay atomundan diğer uzay atomuna, oradan da bir başka uzay atomuna sıçramaktadır.

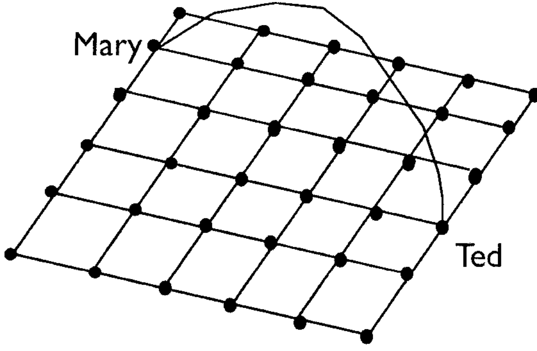
Ne var ki genel göreliliğin, halka kuantum kütleçekiminden ortaya çıktığını gösteren sonuçlar önemli olsalar da bazı kısıtlamaları vardır. Bazı durumlarda, betimleme yalnızca uzayın bir sınır-

la çevrili küçük bir bölgesi için geçerlidir. Sınırın varlığı, bize halka kuantum kütleçekimini uzay-zamanın küçük bir bölgesine ilişkin bir betimleme olarak görmenin daha iyi olacağını, dolayısıyla bu kuramın Newton paradigması içerisinde yer aldığını söyler.

Ayrıca sicim kuramından alınan bazı sonuçlar da uzay-zamanın sınırları olan bir bölge içerisinde ortaya çıkabileceğini göstermektedir: en azından kozmolojik sabit negatif bir değer aldığında durum böyledir. Bunlar Juan Maldacena tarafından varsayılan, 14. Bölüm'de bahsettiğim genel görelilik ile ölçekten bağımsız kuram arasındaki ikilem bağlamında ortaya çıkar. Eğer Maldacena'nın bu varsayımı doğru ise (ki bu varsayımı destekleyen pek çok sonuç bulunmaktadır) klasik uzay-zaman, sabit klasik geometriye sahip bir sınırla çevrili bir bölgenin iç kısmında ortaya çıkabilir.

Bundan hareketle, hem halka kuantum kütleçekimi hem de sicim kuramı kuantum kütleçekiminin bir sınırla çevrili uzay-zaman bölgelerini tanımladığını, dolayısıyla da Newton paradigmasına dâhil olduğunu akla getirmektedir. Bu kuramların en güçlü sonuçları, kutuda fizik bağlamında, betimlemenin tüm kapalı evreni kapsayan bir kurama genişletilip genişletilemeyeceği hususu dikkate alınmadan elde edilmiştir.

Halka kuantum kütleçekimi kuramının sonuçlarının uzay-zamanın ortaya çıkmasına ilişkin şöyle bir varsayımı daha vardır: uzayın kuantum geometrisini betimleyen grafikler, zaten belirli bir az boyutlu uzay resmini andıran grafiklerle sınırlı olmalıdır.[12] Bu örneklerde, uzayın yerelliği grafikteki her köşeyi ya da düğümü, az sayıda diğer köşeye bağlamak suretiyle açıklanır. Şehir dışındaki mahallelerde olduğu gibi, her düğümün sadece birkaç yakın komşusu vardır. Birbirinden uzaktaki düğümler arasında seyahat edebilmek için bir parçacığın birçok sıçrama yapması gerekir. Bir parçacığın ya da bir bilgi paketinin uzun bir yol kat etmesi zaman alır. Dolayısıyla ışık hızının sınırlı olduğu bir doğa betimlemesi ortaya çıkar. Fakat yerelliğin böyle güzel bir modelini barındırmayan birçok kuantum geometri durumu da vardır. Her düğümün diğer tüm düğümlere yalnızca birkaç adımda



Şekil 16: Yerel olmayan bir bağlantı eklenmesi, yerelliğin düzenini bozarak uzaktaki iki noktayı birbirine yaklaştırır.

bağlandığı grafikler bulunur. Şimdilik halka kuantum kütleçekimi yöntemleri bu kuantum geometrilerinin nasıl değiştiğine ışık tutmamaktadır.

İki boyutlu uzayda bir örnek olarak, Şekil 13'tekine benzer geniş bir düzlem parçasını ele alalım. Bu düzlem, şekilde grafik biçiminde gösterilen bir kuantum geometrik betimlemeye sahip olabilir. Şimdi grafikte birbirinden birçok adım uzakta yer alan iki düğüm düşünün; bunlara Ted ile Mary diyeceğiz. Ted'i doğrudan Mary'ye bağlayan başka bir kenar ekleyerek ilk grafikten yeni bir grafik türetebiliriz (bkz. Şekil 16). Bu grafik, Mary ile Ted'in komşu olduğu bir kuantum geometrisini gösterir. Sanki ikisi de birer cep telefonu almış gibidir; onları ayıran uzay kaybolmuştur.

Eğer geometri gerçekten kuantize olmuş durumda ise gözlenebilir evrenimizde belki, her Planck uzunluğunun küpü başına bir düğüm olmak üzere toplam 10^{180} tane düğüm bulunmaktadır. Eğer her biri yalnızca yakındaki birkaç komşusuna bağlıysa, geniş ölçekte kuantum geometrisi aynı klasik geometri gibi görünebilir. Öyleyse uzayın yerelliği, onu üreten kuantum geometrisinin belirli bir tasarımından kaynaklanır. Bu örnekte her düğüm yalnızca birkaç komşuya bağlı olduğundan, kenar sayısı kabaca düğüm sayısına eşittir. Ama kuantum geometrisini oluşturan devasa sayıdaki kenarlara yalnızca bir tane daha ekleyerek uzayın yerelliğini ciddi biçimde bozduk ve Ted ile Mary gibi

birbirinden uzak düğümlerin aslında aynı anda birbirleriyle haberleşebilmesini sağladık. Buna *yerelliğin düzenini bozmak*, eklenen kenara da *yerel olmayan bağlantı* diyoruz.[13]

Yalnızca bir tane yerel olmayan bağlantı ekleyerek yerelliğin düzenini bozmak şaşırtıcı derecede kolaydır. Tek bir yerel olmayan bağlantı, gözlenebilir evrendeki 10^{180} kenardan yalnızca biri olacaktır ama bunu koyabileceğimiz 10^{360} yer bulunmaktadır. Kenarı ya da bağlantıyı, 10^{180} düğüme sahip bir grafiğe gelişigüzel bir şekilde eklerseniz, yerel olmayan bir bağlantı yaratma ihtimaliniz yerel bir bağlantı yaratma ihtimalinizden daha yüksektir, çünkü yerel olmayan bir bağlantı ekleme seçenekleri yerel bağlantı ekleme seçeneklerinden çok daha fazladır. Yerel bir bağlantı oluşturmak istiyorsanız, bir uçtaki düğümü bağlayabileceğiniz diğer düğümlerin sayısı azdır. Ama eğer yerellik umurunuzda değilse diğer ucu evrendeki herhangi bir düğüme bağlayabilirsiniz. Yerelliğin ne kadar büyük bir kısıtlama olduğunu tekrar görüyoruz.

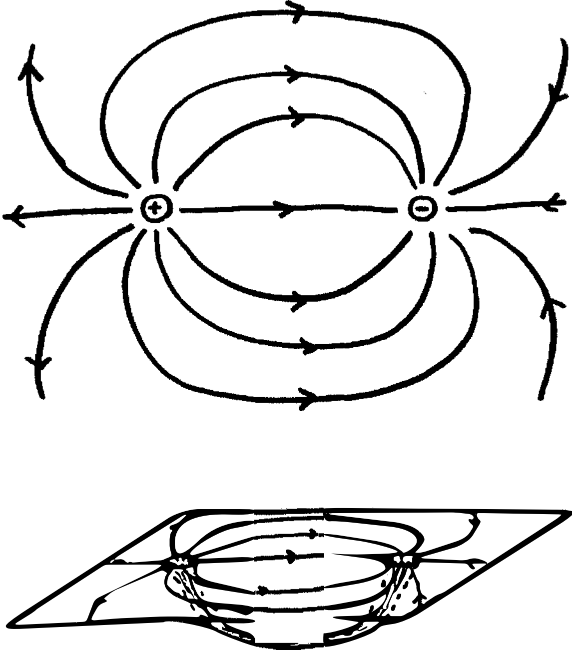
İçinde yaşadığımız büyük ölçekli doğada biz hiç farkına varmadan uzayın kuantum geometrisine kaç tane yerel olmayan bağlantı eklenebileceğini merak edebilirsiniz. Sıradan parçacıkların kuantum dalga boyları Planck ölçeğinden çok daha büyük olduğundan, bir görülebilir ışık fotonunun kendisini doğrudan Ted'den Mary'ye sıçramasını sağlayacak yerel olmayan bir bağlantının öbür ucunda bulma ihtimali son derece azdır. Kaba tahminler, deneylerde ışıktan hızlı haberleşmeyi kolaylıkla saptayabilmemiz için bu tür 10^{100} yerel olmayan bağlantı eklenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu devasa bir rakamdır (ama 10^{180}'den de çok daha küçüktür). Yine de yerel olmayan bir şekilde evrenin diğer ucuna bağlanmış düğümler oldukça yaygın olacaktır; uzayın bir nanometre küpünde ortalama bir tane yerel olmayan bağlantı bulunacaktır.

Yerel olmayan bağlantılara bir kez izin verince, yerelliğin düzeni birçok farklı biçimde bozulabilir. Birçok başka düğüm ile bağlantı kuran birkaç düğüm de olabilir. Bu dost canlısı düğümler, sosyal bir ağdaki dedikoducular gibi davranacak, bol miktarda bilgiyi evrenin çeşitli yerlerine aktaran kestirme yollar olarak görev yapacaktır.

Evren yerel olmayan bu tür bağlantılarla dolu olabilir mi? Bunların varlıklarını nasıl saptayabiliriz?

Hemen akla gelen bir fikir, dolanıklığın ve kuantum kuramındaki diğer yerel olmayan özelliklerin, yerelliğin düzenindeki bozulmaların belirtisi olduğudur. Belki de uzay yerine yalnızca bir etkileşimler ağının bulunduğu, her şeyin muhtemelen diğer her şeye bağlı olduğu temel betimleme düzeyi, 14. Bölüm'de varlığını savunduğum gizli değişkenler kuramıdır. Eğer öyleyse kuantum kuramı uzay ile birlikte ortaya çıkar.[14]

Başka (ve sadece birazcık çatlak) bir hipotez de yerel olmayan bağlantıların evrenimizin genişleme hızının artmasına neden olan gizemli karanlık enerjiyi açıkladığı yönündedir.[15] Daha cesur ve pek o kadar muhtemel olmayan bir diğer hipotez de bunların karanlık maddeyi de açıklayabileceğini söyler.[16] Ondan da



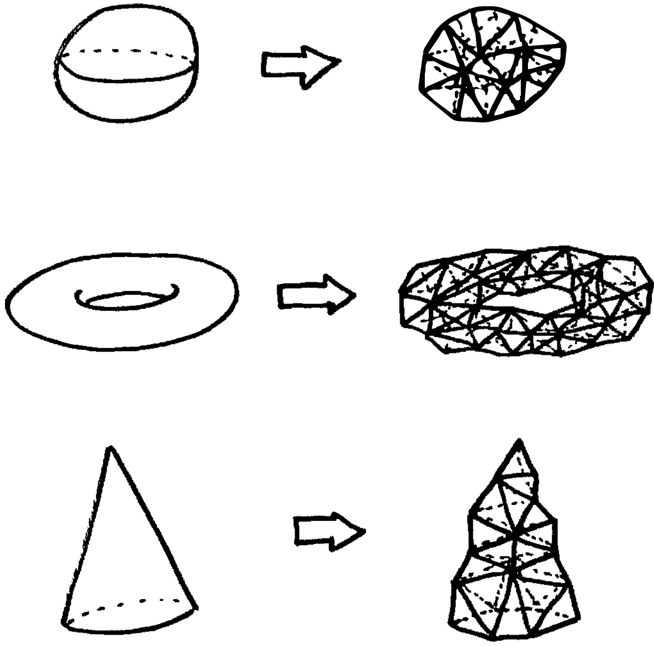
Şekil 17: Bir elektrik akısı çizgisini hapsetmiş bir solucan deliği olarak uzun mesafeli bir bağlantı. Solucan deliğinin ağızlarından birinin etrafında, bir noktadan çıkıyormuş gibi görünen bir elektrik alanı bulunur; bu ağız, yük taşıyan bir parçacığa benzer.

uçuk bir başka hipotez ise yük taşıyan parçacıkların yerel olmayan bağlantıların uçlarından ibaret olduğunu ileri sürer.[17] Bu düşünce, solucan delikleri uzaydaki çok uzak yerleri birbirine bağlayan küçük (varsayımsal) tüneller olduğundan, yüklü parçacıkların pekâlâ solucan deliklerinin uzaydaki ağızları olabileceğini iddia eden John Wheeler'a ait eski bir fikri andırır. Bir elektrik alanının alan çizgileri, yük taşıyan parçacıklarda sona erer ama bu çizgiler solucan deliklerinde de sona erermiş gibi gözükür ve (tahminen) tünelden geçerek diğer uçtan çıkar. Bir uç pozitif, diğer uç da negatif yük taşıyan bir parçacık gibi davranacaktır.[18] Yerel olmayan bir bağlantı da aynı şeyi yapabilir. Bir elektrik alan çizgisini hapsederek bir parçacık ile çok uzaktaki bir karşıparçacık gibi kendini gösterebilir (bkz. Şekil 17).



Yukarıda bahsi geçen fikirlerden birinin işe yaradığı ortaya çıkarsa az sayıda yerel olmayan bağlantı hoş görülebilir, hatta yararlı da olabilir. Ama eğer bunlardan çok fazla sayıda varsa uzayın ortaya çıkmasına ilişkin sorunlarla karşılaşırız. Bu duruma *ters problem* adı verilir.

Bir üçgenler ağından yararlanarak belirli bir düzgün, iki boyutlu yüzeyi, örneğin bir kürenin yüzeyini yaklaşık olarak elde etmek kolaydır (bkz. Şekil 18). Bu tür grafiklere, bir yüzeyin üçgenlenmesi denir. Buckminster Fuller, geodezik kubbeyi bu şekilde icat etmişti; sonra da insanlar kare şeklindeki odaların faydalarını hatırlayana kadar, nereye gitsek bu kubbelerle karşılaştığımız kısa bir dönem geçirdik. Neyse şimdi ters problemi ele alalım. Size bir sürü üçgen verdiğimi ve bunların kenarlarını birbirine yapıştırarak bir yapı oluşturmanızı söylediğimi hayal edin. Sizi herhangi bir şekilde yönlendirmiyorum; sadece elinizdeki üçgenlerle gelişigüzel bir yüzey oluşturmanızı söylüyorum. Bir küre oluşturma ihtimaliniz son derece düşüktür. Muhtemelen Şekil 19'dakilere benzer tuhaf bir şekil elde edersiniz: dikenleri olan bir şekil ya da başka bir karmaşık cisim gibi.

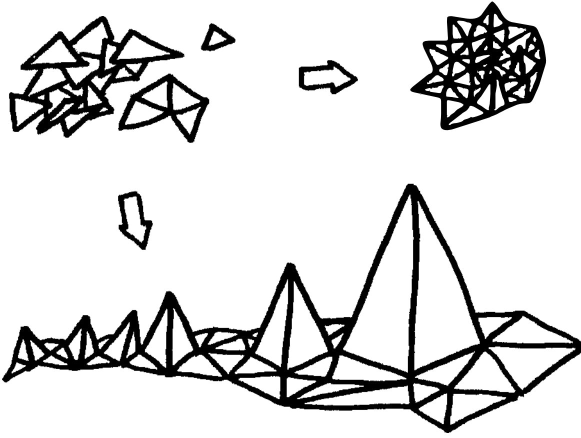


Şekil 18: Düzgün iki boyutlu şekillerin üçgenlenmesi.

Sorun şudur: üçgenleri tuhaf şekiller oluşturacak biçimde birleştirme seçenekleri, iki boyutlu güzel bir küresel yüzey oluşturacak biçimde birleştirme seçeneklerine göre çok daha fazladır. Tüm bu başıbozuk şekillerde parçalı yapı göze batar, çünkü münferit üçgenler ölçeğinde karmaşıklık oldukça yüksektir. Bu nedenle güzel bir uzayı andıran bir şey ortaya çıkmaz.

Genel göreliliğin halka kuantum kütleçekiminden ortaya çıktığını gösteren sonuçlar ters problemle karşılaşmazlar, çünkü bunlar uzayın üçgenlenmesiyle oluşturulabilen belirli grafiklerin seçilmesine dayanırlar. Kendi şartları dâhilinde bu sonuçlar etkileyicidir ama bize çok sayıda yerel olmayan bağlantı içeren daha genel grafiklerin değişimini nasıl betimleyeceğimiz konusunda bir şey söylemezler.

Bu durum, uzayın yerelliğinin ne kadar kısıtlayıcı ve özel olduğunu bir kez daha gözler önüne sermekle kalmaz aynı zamanda önemli bir de ders de verir. Eğer uzay bir kuantum yapısın-



Şekil 19: Üçgenleri kenarlarından gelişigüzel bir şekilde yapıştırarak elde edilen çılgın geometriler.

dan ortaya çıkıyorsa, uzayın "atomlarının" yalnızca uzay "gibi görünen" dizilimler oluşturacak şekilde bir araya gelmelerini sağlayan bir ilke ya da kuvvet olmalıdır. Özellikle de her uzay atomunun çevresinde yalnızca birkaç başka uzay atomunun bulunması zorunlu olmalıdır, çünkü uzay atomlarının gelişigüzel bir diziliminde böyle bir durumla karşılaşılmaz.

Buraya kadar halka kuantum kütleçekimi temelinde inşa edilen kuantum genel göreliliğinden bahsettim ama ters problem, uzayın ya da uzay-zamanın atomik olarak düşünülebilecek bir yapıya sahip olduğu görüşüne dayanan diğer kuantum kütleçekimi yaklaşımları için de bir sorun oluşturur. Bunlar arasında nedensel küme kuramı, sicim kuramının matris modelleri ve dinamik üçgenlemeler adlarıyla bilinen yaklaşımlar da bulunmaktadır. Hepsinin sahip olduğu çekici özellikler insanları bu yaklaşımları incelemeye itmiş ve hepsi ters problem ile karşılaşmıştır.

Söz konusu yaklaşımların sordukları ana soru, neden gerçek doğanın birçok bağlantıya sahip bir ağ gibi değil de üç boyutlu bir uzay gibi göründüğüdür.

Bu zorluğu kavrayabilmek için cep telefonu kullanıcılarından oluşan bir ağda yaşadığımızı hayal edin. Uzay olmasın ve uzaklık ya da kimin komşunuz olup kimin olmadığı kavramları yal-

nızca kimin kimi aradığına bakılarak tanımlansın. Eğer birisiyle günde en azından bir kere konuşuyorsanız birbirinizin en yakın komşusu olduğunuzu kabul edeceğiz. Birini ne kadar seyrek arıyorsanız o bireyden o kadar uzak olacaksınız. Şimdi, bu uzaklık kavramının uzaydaki uzaklıktan ne kadar farklı ve esnek olduğuna dikkat edin. Daha önce gördüğümüz gibi, uzayda herkesin aynı sayıda olası yakın komşusu vardır; cep telefonu ağındaki durumun tersine, üç boyutlu uzayda kimsenin altıdan fazla yakın komşusu olamaz.

Ayrıca bir cep telefonu ağında ağdaki diğer tüm kullanıcılara istediğiniz kadar yakın ya da onlardan istediğiniz kadar uzak olabilirsiniz. Sizin, diyelim ki diğer 50 bin kullanıcıdan ne kadar uzakta olduğunuzu biliyor olmam, bana 50 bin birinci kullanıcıdan ne kadar uzakta olduğunuz konusunda herhangi bir bilgi vermez. Eklenen bir sonraki bu kullanıcı, bir yabancı da olabilir anneniz de. Ama uzayda, yakınlıklar sabittir. En yakın komşularınızın kim olduğunu bana söylerseniz nerede yaşadığınızı biliyorum demektir. Geri kalan herkes ile aranızdaki mesafeyi söyleyebilirim.

Sonuçta, bir ağdaki bağlantıları belirtmek için gereken bilgi, nesnelerin iki ya da üç boyutlu uzayda nasıl düzenlendiğini belirtmek için gereken bilgiden çok daha fazladır. Beş milyar cep telefonu kullanıcısı arasındaki bağlantıları belirtebilmek için olası her kullanıcı çifti için ayrı ayrı bilgi vermem gerekir. Bu, kabaca 5 milyarın karesine eşittir ve $2,5 \times 10^{19}$ şeklinde yazılır. Ama tüm kullanıcıların Dünya üzerinde nerede bulunduğunu belirtmek istiyorsam, her biri için yalnızca iki sayıya ihtiyacım vardır: enlem ve boylam. Bu durumda öncekine kıyasla çok az sayıda, yalnızca 12 milyar tane sayıya ihtiyaç duyulur. Yani eğer uzay bir ağdaki bağlantıların kapatılmasıyla ortaya çıkıyorsa, çok büyük sayıda olası bağlantının kapatılmış olması gereklidir.

Peki, bu bağlantılar nasıl kapatılacak?

Kuantum kütleçekimine yönelik kuantum grafiği yaklaşımı, bu sorunu bir ağdaki bağlantıları oluşturmak ve açık tutmak için enerji gerektiğini varsayarak çözer. Bu durumda Şekil 13'tekine benzer iki ya da üç boyutlu bir tel örgü oluşturmak, daha yük-

sek boyutlu tel örgüler oluşturmaya kıyasla çok daha az enerji gerektirir. Bu, çok erken evrene ilişkin basit bir resme işaret eder: Başlangıçta evren çok sıcaktı ve bu nedenle çoğu bağlantıyı açmak için yeterli enerji vardı. Dolayısıyla erken evren, her şeyin diğer her şeye en fazla birkaç adımda bağlandığı bir dünyaydı. Evren soğudukça bağlantılar kopmaya başladı ve sonunda yalnızca üç boyutlu bir örgü oluşturmaya yetecek kadar bağlantı kaldı. Bu, uzayın ortaya çıkmasına ilişkin bir senaryodur (bazı meslektaşlarım Büyük Patlama yerine Büyük Donma demeyi tercih eder). Süreç, *geometri oluşumu* adıyla da bilinir.[19]

Geometri oluşumu, evrenin başlangıç koşullarına ilişkin örneğin, KMF ışımasının neden her yönden aynı sıcaklıkta ve aynı dalgalanma tayfında bize ulaştığı gibi bazı anlaşılmaz özellikleri açıklayabilir: Çünkü başlangıçta evren yüksek oranda birbirine bağlantılı bir sistemdi. Dolayısıyla geometri oluşumu, gençliğinde evrenin muazzam bir şişme süreci geçirdiği hipotezine bir alternatif oluşturur.

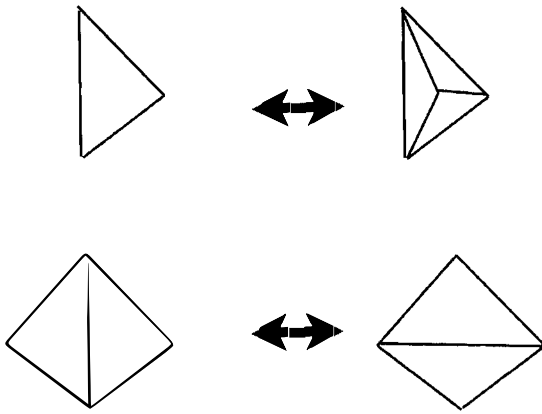
Elbette şeytan ayrıntılarda gizlidir; Büyük Donma'nın tam olarak neden ve nasıl daha karmaşık bir yapıya değil de Şekil 13'te gösterilen iki boyutlu örgüye benzer, düzenli görünen bir, üç boyutlu yapıya yol açtığı sorusu, halen araştırılan konular arasındadır.[20]



Ters problemin çözümü, zamanın doğasına ilişkin iki önemli ders vermektedir.

Bunlardan ilki şudur: evrensel bir zaman değişkeninin varlığını kabul eden kuantum evren modellerinde uzayın ortaya çıkması daha muhtemeldir. Dinamik üçgenleme modelleri buna örnek gösterilebilir.

Belirtildiği üzere, bir üçgenleme birçok üçgenin birleştirilmesiyle oluşturulan, geodezik kubbeler gibi yüzeylerdir (bkz. Şekil 18). Üç boyutlu eğimli bir uzay da benzer şekilde, üçgenlerin üç boyutlu eşdeğerleri olan üçgen piramitlerin birleştirilmesiyle in-

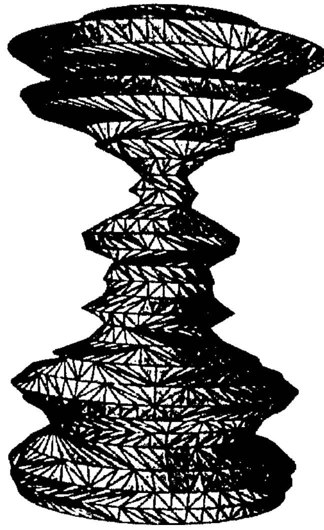


Şekil 20: Yüzeylerin üçgenlenmesine dair evrim kuralları.

şa edilebilir. Bir dinamik üçgenleme modeli, bu üçgen piramitleri uzayın atomları olarak kullanır. Kuantum geometrisi bir grafik ile değil, yüzey yüzeye yapıştırılan üçgen piramitlerden oluşan bir dizilim ile betimlenir.[21] Böyle bir uzay konfigürasyonu, bir dizi kurala göre zaman içerisinde evrimleşir ve dört boyutlu ayrık bir üçgenlenmiş uzay-zaman modeli oluşturur (bkz. Şekil 20).

İki tür dinamik üçgenleme yaklaşımı vardır: bunlar, blok evren resmindeki gibi uzay-zamanın atomlardan oluştuğunu ve ortaya çıktığını öngören yaklaşımlar ve evrensel bir zaman kavramı varsayarak yalnızca uzayın ortaya çıktığını öngören yaklaşımlardır. Diğer yönlerden yaklaşımların yapısı birbirine çok benzer. Sonuç olarak, tutarlı bir uzay-zamanın yalnızca zamanı gerçek kabul eden modellerde ortaya çıktığı görülmüştür. Evrensel bir zaman içermeyen diğer modeller ters probleme yenik düşer: yani bunlar uzaya uzaktan yakından benzemeyen başıbozuk geometrilerin istilâsı altında ezilir (bkz. Şekil 19).

Ters probleme çözüm getiren modeller, Ambjørn ile Loll tarafından ortaya atılan nedensel dinamik üçgenlemeler adlı modellerdir. Ortaya çıkan bu uzay-zamanlar, üç uzay ve bir zaman boyutuna sahip olduklarından kısmen gerçekçidir; bazıları Şekil



Şekil 21: Nedensel dinamik üçgenleme modeli temelinde ortaya çıkan tipik bir uzay-zaman geometrisi.[22]

21'de örneklenmiştir. Bunlar, geniş ölçeklerde Einstein'ın genel görelilik kuramının çözümlerini andıran kuantum evrenlerin ilk örneklerini oluşturur. Hatta uzayın hacminin zamanla Einstein denklemlerinin gerektirdiği biçimde genişlediğini bile gösterirler.

Çözülmesi gereken bazı sorunlar vardır: örneğin, ortaya çıkan bu uzay-zamanların, genel görelilikteki çözümlere kütleçekimi dalgaları ve kara delikler gibi olguları üretmeye yetecek kadar ayrıntılı bir şekilde benzeyip benzemediği konusu gibi. Bir başka zorluk, modellerde yer alan evrensel zaman kavramının kaderini anlayabilmektir. Eskiden beri sorulan bir soru, evrensel zamanın genel görelilikteki çok-parmaklı-zaman simetrisini bozup bozmadığıdır (bkz. 6. Bölüm). Bu soruyu ifade etmenin daha yeni bir yolu şöyledir: 14. Bölüm'de gördüğümüz gibi genel görelilik kuramına denk ve evrensel zamana sahip bir kuram olan şekil dinamiği kuramı biçiminde (gerekirse bu modelde bazı ayarlamalar yapılarak) genel görelilik kuramı geri getirilebilir mi?

İkinci ders şudur: eğer uzay ortaya çıkıyorsa, eşzamanlılığın göreliliği en temel seviyede var olamaz, çünkü her şey diğer her şeye bağlıdır. Herhangi iki düğüm arasında bir ya da birkaç

adımda sinyal göndermeniz mümkün olduğundan saatleri senkronize etmekle ilgili bir sorun yaşanmaz. Dolayısıyla bu seviyede zaman evrensel olmalıdır.

Kuantum grafiği modellerinden elde edilen sonuçlar, bu derse örnek oluşturur. Bu modellerde, ortam çok sayıda düğüme sahip bir grafiktir; düğümlerden herhangi ikisi ya birbirine bağlıdır ya da değildir. Bu durumda kuantum geometrileri, tüm düğümleri birbirine bağlayacak şekilde çizilebilen bütün grafikleri kapsar. Dinamik bir kanun bağlantıları açıp kapatır. Kenarları açıp kapamaya yönelik farklı kanunlar varsayan birkaç model incelenmiştir. Bu modellerin suyun iki hâline benzer iki fazı olduğu anlaşılmaktadır. Neredeyse tüm kenarların açık ve tüm düğümlerin bir ya da iki adımda diğer tüm düğümlerle yakın bağlantı içerisinde olduğu bir yüksek sıcaklık fazı vardır. Yerellik yoktur, çünkü bilgi herhangi iki düğüm arasında kolayca ve hızla sıçrayabilir. Modelin bu fazında uzaya benzer bir şey yoktur. Ama eğer modeli soğutursanız, donmuş bir hâle bir faz geçişi olur ve neredeyse tüm kenarlar kapanır. Düşük boyutlu bir uzayda olduğu gibi, her düğümün yalnızca birkaç yakın komşusu kalır ve çoğu düğüm çifti arasında birçok sıçrama yapmak gerekir.

Kuantum grafiği modellerine maddeyi de ekleyebilirsiniz. Parçacıklar düğümlerde bulunur ve yalnızca iki düğümü birbirine bağlayan kenar açıksa bu düğümler arasında sıçrayabilirler. Genel görelilikte de yer bulan karşılıklı eylem ilkesini (geometri maddeye nasıl hareket edeceğini, madde de geometriye nasıl evrimleşeceğini söyler diyen ilkeyi) açıklayan bir dinamik ortaya atılabilir. Bu modeller uzayın ortaya çıkışının bazı özelliklerini taşır ve kütleçekimsel bazı olguları da kapsar. Bu olgular arasında, parçacıkları uzun bir süre boyunca hapsedebilen kuantum kara deliklerine benzer yapılar da sayılabilir. Bu kara delik bölgeleri kalıcı değildir; Stephen Hawking'in kara delik buharlaşması sürecini hatırlatan bir şekilde yavaş yavaş buharlaşırlar.

Bu modellerin gerçeği yansıttığına karar vermeden önce üzerlerinde daha çok çalışma yapılması gereklidir. Ancak daha şimdiden, oyuncak modeller olarak bile, önemli sezgisel fayda sağ-

lamış durumdadırlar. Bu modeller, her şeyin diğer her şeye bağlanmasının mümkün olması durumunda, evrensel bir zamanın olması gerektiğini göstermektedir. Özel görelilikte karşımıza çıkan eşzamanlılığın göreliliği, yerelliğin bir sonucudur. Uzak olayların eşzamanlı olup olmadığını belirlemek imkânsızdır, çünkü ışık hızı sinyallerin iletilme hızına yönelik bir üst sınır teşkil eder. Genel görelilikte, ancak iki olay aynı yerde meydana geliyorsa bu olayların eşzamanlı olup olmadıklarını saptayabilirsiniz. Ama tüm parçacıkların diğer tüm parçacıklardan bir adım uzakta bulunmasının mümkün olduğu bir kuantum evreninde, esasen her şey "aynı yerdedir". Böyle bir modelde saatleri senkronize etmek sorun yaratmaz, bu yüzden evrensel bir zaman vardır.

Böyle bir modelde uzay ortaya çıktığında yerellik de ortaya çıkar. Sinyallerin iletimine yönelik bir hız sınırı da böylelikle oluşur. (Bu, kuantum grafiği modellerinde yeterince ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.[23]) Yalnızca ortaya çıkan uzay-zamanın içerisindeki olgulara baktığınız ve uzay-zaman atomlarının ölçeğine inmediğiniz sürece, özel görelilik yaklaşık olarak doğru gibi görünecektir. Bu da bu bölümde betimlenen modellerin ve kuramların bize verdiği ana dersi destekler: *Uzay bir yanılsama olabilir ama zaman gerçek olmalıdır.*

Kuantum kütleçekimine ilişkin anlayışımızın gelişimi sürmektedir. Burada tartışılan tüm yaklaşımlar çok değerlidir. Her biri, bize doğada gözlemleyebileceğimiz olası kuantum kütleçekimi olguları hakkında önemli bir şey öğretir; ayrıca farklı hipotezlerin getirdiği sonuçlar, hipotezlerin karşısındaki zorluklar ve bu zorlukları aşmaya yönelik olası stratejiler de bize öğrettikleri arasındadır. Daha başarılı yaklaşımlar, ya Newton paradigması kapsamındadır ve bize bir kutudaki kuantum uzay-zamanları hakkında bir şeyler söyler ya da eğer kozmolojik meydan okumayı yanıtlamaya çalışıyorlarsa, zamanın gerçek olduğuna işaret eder.

Evrenin Yaşamı ve Ölümü

ŞİMDİ EVRENE İLİŞKİN SORABİLECEĞİMİZ en önemli ve gizemli soruya geri dönelim: Evren, yaşama neden uygundur? Bu sorunun yanıtında zamanın gerçekliğinin önemli bir rolü olduğunu göreceğiz.

Eğer zaman gerçekse evrenin yalnızca zamanın temel olduğunu varsayarak açıklayabileceğimiz özellikleri bulunmalıdır. Bu özellikler aksi varsayım, yani zamanın ortaya çıktığı varsayım doğru kabul edildiğinde gizemli ve tesadüfi görünmelidir. Böyle özellikler gerçekten de vardır; evrenimizin basitten karmaşığa doğru evrimleşen bir tarihe sahip olduğu yolundaki gözlem, bu özellikleri açıklar. Bu durum, zamana güçlü bir yönlülük özelliği kazandırır; evrende zamanın bir oku olduğunu söyleriz. Zamanın esas olmadığı ve ortaya çıktığı bir dünyada zamanın yönlülük özelliğine sahip olması hiç muhtemel değildir.

Etrafınıza bakın. Çıplak gözle de en güçlü teleskoplarla da son derece iyi yapılandırılmış ve karmaşık bir evren görüyoruz.

Karmaşıklık olası olmayan bir özelliktir. Açıklama gerektirir. Hiçbir şey birden bire basit bir düzenden çok karmaşık bir düzene geçemez. Büyük karmaşıklık, bir dizi küçük adım gerektirir. Bu adımlar peş peşe atılır, bu da olayların zaman içerisinde sıkı bir sıralamaya sahip olduğu anlamına gelir.

Karmaşıklığa ilişkin tüm bilimsel açıklamalar, karmaşıklık seviyesinin yavaşça ve aşamalı olarak arttığı bir tarihe ihtiyaç duyar. Bu, Richard Dawkins'in Olasılıksızlık Dağına tırmanmaktır.[1] Yani evrenin zaman içerisinde gerçekleşen bir tarihi olmalıdır. Evrenin şimdiki hâlini nasıl aldığını açıklayabilmek için bir sebep-sonuç sıralaması gereklidir.

19. yüzyıl fizikçileri ile zaman dışı resmi benimseyen ve kurgusal düşünceye sahip bazı çağdaş kozmologlara göre, çevremizde gördüğümüz karmaşıklık tesadüfidir ve geçici olmak zorundadır. Onlara göre, evrenin kaderinde en sonunda dengeye erişmek vardır. Bu, *evrenin ısı ölümü* adı verilen, madde ile enerjinin evrende düzgün bir şekilde dağıldığı ve nadir rastlantısal dalgalanmalardan başka hiçbir şeyin meydana gelmediği bir durumdur.[2] Çoğu zaman bu rastlantısal dalgalanmalar ortaya çıkar çıkmaz kaybolur ve hiçbir yapı oluşturmaz. Ama bu ve daha sonraki bölümlerde açıklayacağım gibi, 10. Bölüm'de yeni bir kozmolojik kurama yönelik olarak belirlediğimiz ilkeler karmaşıklığın sürekli arttığı bir evrenin neden doğal ve kaçınılmaz olduğunu anlamamıza yardımcı olacaktır.

Yani önümüzde, evrenin geleceğine dair birbirinden tamamen farklı resimler çizen iki farklı seçenek var. İlk resimde gelecek yoktur, çünkü zaman da yoktur. Zaman, olsa olsa değişimi ölçen bir yanılsama, değişim sona erdiğinde ortadan kalkacak bir yanılsamadır.

İleri sürdüğüm zamana bağlı resimde ise evren, yeni olgular ve yapılanma durumları üretmeye yönelik, daha yüksek karmaşıklık ve yapılanma durumlarına doğru evrimleştikçe kendisini sonsuza dek yenileyecek bir süreçtir.

Gözlem kayıtlarımız, evrenin zaman geçtikçe daha ilginç bir hâl aldığını şüpheye yer bırakmayacak şekilde göstermektedir. Önceleri, evren denge içerisindeki bir plazma ile doluydu; bu en basit başlangıçtan itibaren, gökada gruplarından biyolojik moleküllere kadar çok geniş bir yelpazedeki ölçeklerde inanılmaz bir karmaşıklık evrimleşmiştir.[3]

Tüm bu yapılarda ve karmaşıklıkta görülen kalıcılık ve gelişme şaşırtıcıdır, çünkü etrafımızda gördüğümüz yapılara ilişkin

olarak, bu yapıların rastlantısal bir düzenlemeden ibaret oldukları şeklindeki en basit açıklama saf dışı kalır. Bir rastlantı, karmaşıklığı zaman geçtikçe sürekli artan ve milyarlarca yıl boyunca ayakta kalan yapılar oluşturmaz. Birazdan açıklayacağım gibi, çevremizde gördüğümüz karmaşıklık tesadüfi olsaydı, neredeyse kesinlikle söyleyebilirim ki zamanla artmaz, aksine azalırdı.

Evrenin ısı ölümüyle sona ereceği öngörüsü, zamanın fizikten ve kozmolojiden sürülmesindeki bir başka adımdır ve antik çağdan kalan evrenin doğal hâlinde değişime yer olmadığı fikrini andırmaktadır. Kozmolojik düşüncedeki en eski inanç, doğanın doğal hâlinin denge durumu olduğu yönündedir. Yani her şey doğal yerinde olduğundan düzen oluşturmaya yönelik bir itici güç yoktur. İkinci bölümde anlattığım gibi, bu düşünce, her elementin doğal bir hareketi olduğunu söyleyen bir fiziği temel alan Aristoteles kozmolojisinin özünde yer alıyordu: Örneğin, toprak merkezi arzularken havanın doğal hareketi yukarıya doğruydu.

Aristoteles'e göre, dünyevi âlemde değişimin hâlâ var olmasının tek nedeni, bir şeyi doğal durumundan çıkartabilen ve zorunlu hareket olarak sınıflandırılan başka hareket nedenleri bulunmasıdır. İnsanlar ve hayvanlar zorunlu hareket kaynaklarıdır ama başka kaynaklar da vardır. Sıcak su bünyesine hava kabul ederek kısmen havanın doğal yükselme hareketini edinir, soğuyana dek yükselir, sonra da havayı atıp yağmur olarak düşer. Bu zorunlu hareketin nihai kaynağı, göksel âlemin bir parçası olan Güneş'in sıcaklığıdır. Öyle ya da böyle, tüm zorunlu hareketlerin kaynağı Güneş'tir. Dünyevi küre gökten ayrılıp kendi başına kalsaydı, her şey doğal yerinde hareketsiz kalarak denge durumuna ulaşır ve değişim sona ererdi.

Modern fizik, termodinamik yasaları ile nitelenen kendi denge kavramına sahiptir. Bu yasalar, kutuda fizik için geçerlidir. Termodinamik yasaları, çevresi ile enerji ya da madde alışverişinde bulunmayan yalıtılmış sistemlere uygulanabilir.

Ancak yine de Aristoteles veya Newton'daki denge kavramları ile modern termodinamik denge kavramını birbirine karıştırmamaya dikkat etmeliyiz. Aristoteles ve Newton'da denge,

kuvvetler arasındaki eşitlikten kaynaklanır. Bir köprü, her kiriş ve perçin üzerindeki farklı kuvvetler birbirine eşit olduğu için ayakta kalır. Modern termodinamikteki denge kavramı ise tamamen farklı olup, çok fazla sayıda parçacıktan oluşan sistemler için geçerlidir ve özünde olasılık kavramları yer alır.

Evrenin ısı ölümünden bahsetmeye başlamadan önce kullanacağımız terimleri anladığımızdan emin olmalıyız. Bunların en başında, *entropi ve termodinamiğin ikinci yasası* gelmektedir.



Modern termodinamiği anlamanın kilit noktası, iki farklı seviyede betimleme içerdiğinin kavranmasıdır. Bunlardan ilki belirli bir sistemdeki tüm atomların konumları ile hareketlerinin kesin biçimde betimlenmesinden oluşan mikroskobik seviyedir. Buna, *mikro durum* adı verilir. Bir de örneğin, bir gaz için sıcaklık ve basınç gibi birkaç değişken kullanılarak yapılan, sistemin kaba ve yaklaşık bir betimlemesi olan makroskobik seviye ya da *makro durum* vardır. Bir sistemin termodinamiğini incelemek, bu iki betimleme seviyesi arasındaki ilişkiyi değerlendirmeyi gerektirir.

Basit bir örnek olarak standart bir tuğla bina verilebilir. Bu örnekte makro durum mimari çizim, mikro durum ise her bir tuğlanın tam olarak nerede yer alacağıdır. Mimarın yalnızca pencere ve kapılar için boşluklar bırakan şu ve şu boyutlarda tuğla duvarlar örülecek demesi yeterlidir. Hangi tuğlanın nereye koyulacağını söylemesine gerek yoktur. Çoğu tuğla birbirinin aynıdır, birbirinin aynı iki tuğlanın yer değiştirmesi yapıyı etkilemeyecektir. Dolayısıyla aynı makro durumu veren çok fazla sayıda farklı mikro durum vardır.

Bunu Frank Gehry'nin binalarından biriyle örneğin, dış yüzeyi ayrı ayrı işlenmiş metal levhalardan oluşan Bilbao Guggenheim Müzesi ile karşılaştıralım. Gehry'nin tasarımlarındaki eğimli yüzeyleri yaratmak için her levhanın farklı olması gerekir ve her birinin yerleştirileceği yer önemlidir. Bina, yalnızca her me-

tal levhanın doğru yere konması halinde mimarın tasarladığı biçimi alır. Bu örnekte, mimari çizim yine makro durumu, her levhanın konacağı yer de mikro durumu saptamaktadır. Ama geleneksel tuğla binanın aksine, mikro durumda değişiklik yapma serbestisi yoktur. İstenen makro durumu ortaya çıkartan tek bir mikro durum söz konusudur.

Aynı makro duruma yol açan kaç mikro durum olduğu düşüncesi, Gehry'nin binalarının neden bu kadar devrimsel olduğunu açıklayabilmemizi sağlar. Bu kavramın bir adı vardır: *entropi.* Bir binanın entropisi, parçaları kaç farklı biçimde birleştirerek mimarın çizimini hayata geçirebileceğimizin bir ölçütüdür. Standart bir tuğla binanın entropisi çok yüksektir. Frank Gehry imzası taşıyan bir binanın entropisi ise kendi eşsiz mikro durumuna karşılık gelecek şekilde sıfır olabilir.[4]

Bu örnekten, *entropinin bilgiyle ters orantılı olduğunu* anlayabiliriz. Bir Gehry binasının tasarımını anlatmak için çok daha fazla bilgiye ihtiyaç duyarsınız, çünkü her parçanın nasıl üretileceğini ve tam olarak nereye yerleştirileceğini belirtmeniz gerekir. Normal bir tuğla binanın tasarımını anlatmak için ise çok daha az bilgi gerekir, çünkü yalnızca duvarların boyutlarını bilmeniz yeterlidir.

Fizikten daha alışıldık bir örnek vererek bu yöntemin nasıl işlediğine bakalım. Çok sayıda molekülden oluşan bir gazla dolu bir kap düşünün. Temel betimleme mikroskobiktir: Bize her molekülün nerede olduğunu ve nasıl hareket ettiğini söyler. Bu çok fazla miktarda bilgi demektir. Sonra bir de gazı yoğunluğu, sıcaklığı ve basıncı cinsinden tarif eden makroskobik betimleme vardır.

Yoğunluğu ve sıcaklığı belirtmek için gereken bilgi, her atomun nerede olduğunu belirtmek için gereken bilgiden çok daha azdır. Sonuç olarak, mikroskobik betimlemeden makroskobik betimlemeye geçiş yapmak kolay, tersini yapmak ise zordur. Her molekülün nerede olduğunu biliyorsanız, yoğunluğu ve ortalama hareket enerjisinden ibaret olan sıcaklığı da biliyorsunuz demektir. Ama diğer yöne gitmek imkânsızdır, çünkü her bir atomu mikroskobik olarak çok farklı biçimlerde dizerek aynı yoğunluğa ve sıcaklığa ulaşabilirsiniz.

Mikro durumdan makro duruma geçiş yaparken belirli bir makro durum ile uyuşan kaç mikro durum olduğunu saymak işe yarar. Binalara ilişkin verdiğimiz örneklerdeki gibi, bu sayı makroskobik konfigürasyonun *entropisidir*. Bu şekilde tanımlandığında, entropinin yalnızca makroskobik betimlemeye ait bir özellik olduğuna dikkatinizi çekerim. Dolayısıyla entropi ortaya çıkan bir özelliktir; bir sistemin kesin mikro durumunun entropisinden söz edilemez.

Sonraki adım, entropi ile olasılık arasında bağlantı kurmaktır. Bunu, tüm mikro durumların gerçekleşme olasılığının aynı olduğunu varsayarak yaparsınız. Söz konusu varsayımın dayanağı gaz atomlarının kaotik hareket içerisinde bulunmasıdır. Dolayısıyla atomların hareketleri karışık ve rastlantısaldır. Belirli bir makro duruma karşılık gelen ne kadar çok sayıda mikro durum varsa yani makro durumun entropisi ne kadar yüksekse o makro durumun gerçekleşme olasılığı da o kadar fazladır. Mikro durumların rastlantısal olduğu dikkate alındığında, gerçekleşmesi en muhtemel makro duruma denge durumu denir. Denge, aynı zamanda en yüksek entropiye sahip durumdur.

Bir kediyi oluşturan atomları birbirinden ayırıp bunları bir odadaki hava ile gelişigüzel bir şekilde karıştırın. Kedinin atomlarının havada gelişigüzel dağılmış olduğu mikro durumların sayısı, kedinin yeniden bir araya gelerek koltuğa oturup kürkünü yaladığı mikro durumların sayısından çok daha fazladır. Atomların bir kedi oluşturacak biçimde dizilme ihtimali son derece azdır, o nedenle kedinin entropisi aynı atomların gelişigüzel bir şekilde havaya karışmış olduğu duruma kıyasla daha düşük, içerdiği bilgi miktarı daha fazladır.

Bir gazdaki atomlar kaotik bir şekilde hareket ederek sık sık çarpışır. Çarpıştıklarında birbirlerini az çok rastlantısal yönlere gönderirler. Yani zaman, mikro durumu karıştırma eğilimindedir. Mikro durum başlangıçta rastlantısal olmasa bile kısa süre içerisinde rastlantısal bir hale gelecektir. Bu, şu anlama gelir: denge durumu dışındaki düşük entropiye sahip bir durumdan yola çıktığımızda, zamanla gerçekleşmesi en muhtemel şey mik-

ro durumun daha rastlantısal bir hâl alması ve entropinin artmasıdır. İşte buna, *termodinamiğin ikinci yasası* diyoruz.

Bu yasanın nasıl işlediğini görmek için basit bir deney yapalım. Bunun için bir deste iskambil kâğıdı ile bir kâğıt karıcıya ihtiyacımız var. Deneyin başlangıcında kâğıtların sıralı olduğunu varsayalım. Daha sonra tek yapacağımız şey, kâğıtların saniyede bir defa olmak üzere kâğıt karıcı tarafından karılmasını sağlamak olacaktır. Deney, sürekli karılan kâğıtların sırasının nasıl değiştiğini gözlemlemekten oluşuyor.

Deney başladığında kâğıtlar sıralıdır ama onları her kardığımızda sıra biraz daha rastlantısal bir hâle gelir. Entropi artma eğilimindedir. Yeterince karıldıktan sonra elde ettiğimiz sıralamayı tamamen rastgele bir sıralamadan ayırmak imkânsızdır; sonuç olarak, esasen başlangıçtaki sıralamadan bir iz kalmamıştır.

Termodinamiğin ikinci yasası, işte bu düzenin düzensizlik içerisinde kaybolma eğilimini açıklar. Bu bağlamda yasa, bir deste kâğıt karıldığında, genellikle kâğıtların başlangıçta sahip olabileceği herhangi bir özel sıralamanın ortadan kalkacağını, bunun yerini rastgele bir sıralamanın alacağını söyler.

Entropi her zaman artmaz. Arada bir kâğıtları karmak entropiyi azaltabilir de. Örneğin, kâğıtlar başlangıçtaki sıralamaya geri dönebilir. Fakat sıralı bir deste kâğıt karıldığında, entropinin artma olasılığı azalma olasılığından çok daha fazladır. Bir destede ne kadar çok kâğıt varsa karma sonucunda kâğıtların hepsinin yeniden sıralanması ihtimali o kadar az olacaktır. Dolayısıyla desteyi tamamen sıraya sokan karma işlemleri için geçen süreler de o kadar uzayacaktır. Yine de eğer destede sonlu sayıda kâğıt bulunuyorsa, saniyede bir kez yapılan karma işlemlerinin kâğıtları tamamen yeniden sıraya dizmesinin muhtemel olduğu bir süre vardır. Buna, *Poincaré yinelenme süresi* adı verilir. Bir sistemi daha kısa süreler boyunca izlediğinizde muhtemelen yalnızca entropinin arttığını gözlemlersiniz. Ama sistemi Poincaré yinelenme süresinden uzun bir süre boyunca izlerseniz entropinin azaldığını görmeniz de olasıdır.

Kâğıtların sıralanmasında rastlantısallığın oynadığı role dair bu öykü, gazlar için de anlatılabilir. Gazdaki atomların da düzenli konfigürasyonları bulunmaktadır. Örneğin, tüm atomların kutunun bir tarafında toplandığı ve aynı yönde hareket ettiği konfigürasyonlar gibi. Bu konfigürasyonlar, tüm kâğıtların sıralı olduğu konfigürasyonlara benzer. Ancak atomların böyle düzenli konfigürasyonları olsa da bunlar kutunun içerisinde rastgele dağılmış oldukları ve gelişigüzel yönlerde hareket ettikleri konfigürasyonlara göre çok daha enderdir.

Eğer tüm atomların kutunun aynı köşesinde olduğu ve hepsinin aynı yönde hareket ettiği bir konfigürasyondan yola çıkarsak, hareket edip birbirlerine çarptıkça kutuya yayılarak onu tamamen doldurduklarını görürüz. Bir süre sonra atomların konumları tamamen karışacak, kutunun içerisindeki atomların yoğunluğu her yerde aynı olacaktır.

Kabaca aynı oranda, birbiriyle çarpışmaları sonucunda atomların hareket yönleri ve enerjileri de rastlantısal bir hale gelecektir. Eninde sonunda, atomların çoğu ortalamaya yakın bir enerjiye sahip olacaklardır ki bu da gazın sıcaklığını oluşturacaktır.

Başlangıçta sahip olduğunuz konfigürasyon ne kadar düzenli ve alışılmadık olursa olsun, bir süre sonra kutunun içerisindeki atomların yoğunluğu ile sıcaklığı her yerde aynı ve rastlantısal olacaktır. Bu, denge durumudur. Gaz bir kez dengeye ulaşınca muhtemelen bu denge konumunda kalır.

Bu bağlamda termodinamiğin ikinci yasası, kısa süreler içerisinde entropide gerçekleşebilecek en muhtemel değişimin pozitif bir rakam ya da en azından sıfır olacağını söyler. Eğer dengede olmayan bir konfigürasyon ile başlarsanız, daha düşük olasılığa sahip bir konfigürasyonla dolayısıyla da daha düşük entropi ile başlıyorsunuz demektir. Olması en muhtemel şey çarpışmalar sonucunda atomların konfigürasyonu daha da rastlantısal bir hâle getirmeleri ve böylece o konfigürasyonun olasılığını artırmalarıdır. Yani entropi yükselir. Eğer denge durumunda başlıyorsanız, konfigürasyon zaten rastlantısal olduğu için entropi azami seviyededir ve olması en muhtemel şey konfigürasyonun

rastlantısal kalmasıdır. Ama eğer atomları çok uzun bir süre boyunca izlerseniz, belirttiğimiz gibi, gazı daha düzenli bir duruma getiren düşük olasılıklı dalgalanmalar görürsünüz. Bu dalgalanmaların en muhtemel olanları çok küçüktür: bir yerdeki yoğunlukta azıcık artış, başka bir yerdekinde azıcık azalma gibi. Tüm atomları yeniden kutunun bir köşesinde toplayan dalgalanmaların olasılığı ise çok daha düşüktür. Ama yeterince zaman verildiğinde bunlar da gerçekleşir. Sonlu sayıda atom olduğu sürece, bu dalgalanmalar en nadir görülen bir konfigürasyona bile yol açabilecektir.

Ama bu tür dalgalanmaların fiziksel etkilerini görmek için beklemenize gerek yoktur. Bilindiği gibi Einstein, atomların varlığını göstermek için bir sıvıdaki moleküllerin dalgalanmalarını inceleyen bir çalışmadan faydalanmıştı. Sıvıların, örneğin suyun, rastlantısal hareket içerisindeki moleküllerden oluştuğu hipotezini ortaya attı ve bu hareketlerin suda yüzen küçük bir parçacık, örneğin bir polen taneciği üzerindeki etkilerini inceledi. Su molekülleri görülemeyecek kadar küçük olmakla birlikte etkileri bir mikroskopla görülebilecek büyüklükteki polen taneciğinin hareketleri sayesinde gözlemlenebilir. Taneciğin moleküllerle yaptığı çarpışmalar onu sağa sola savurarak gelişigüzel bir şekilde dans etmesine neden olur.

Polen taneciğinin ne kadar enerjik bir şekilde dans ettiğini ölçerek kendisine saniyede kaç molekülün nasıl bir kuvvet ile çarptığını hesaplayabilirsiniz. Einstein, 1905'te kaleme aldığı makalelerinin birinde atomların özelliklerine ilişkin olarak, bir gram su içerisinde kaç atom bulunduğunu da kapsayan ve sonradan doğrulanan bazı test edilebilir öngörülerde bulunmuştu.[5] Bu ve benzeri birçok deney sayesinde, bu tür dalgalanmaların gerçek olduğunu ve termodinamik öyküsünün bir parçasını oluşturduğunu biliyoruz.

Dalgalanmalar, termodinamiğe ilişkin ilk çalışmaların içinden çıkamadığı önemli bir paradoksu da çözüme kavuşturur. İlk öne sürüldükleri dönemde, termodinamik yasaları atom veya olasılık kavramlarına yer vermiyorlardı. Gazlar ve sıvılar sürekli mad-

deler olarak düşünülüyor, entropi ile sıcaklık ise olasılık kavramından bağımsız biçimde, temel bir anlamları varmış gibi tanımlanıyordu. Başlangıçtaki bu ifade biçiminde, ikinci yasa sadece herhangi bir süreçteki entropi ya artar ya da aynı kalır diyordu. Bir başka yasa da entropi azami düzeye ulaştığında bir sistemin her yerde aynı sıcaklıkta olacağını söylüyordu.

James Clerk Maxwell ile Ludwig Boltzmann, 19. yüzyılın ortalarında maddenin gelişigüzel hareket eden atomlardan oluştuğu hipotezini geliştirdi ve istatistik bilimini çok sayıda atomun hareketlerine uygulayarak termodinamik yasalarını türetmeye çalıştı. Örneğin, sıcaklığın rastlantısal atomik hareketlerin ortalama enerjisinden ibaret olduğunu ileri sürdüler. Entropiyi ve ikinci yasayı benim yukarıda anlattığıma oldukça benzer bir şekilde ifade ettiler.

Ama o dönemde çoğu fizikçi atomlara inanmıyordu. Dolayısıyla termodinamik yasalarını atomların hareketlerine dayandıran bu çabaları reddettiler ve termodinamik yasalarının bu tür hareketlerden türetilemeyeceğini göstermek için güçlü savlar geliştirdiler. Bu savlardan biri şuydu: Atomların (eğer var iseler) uymak zorunda oldukları hareket yasaları, zamanda tersinir özelliktedir (5. Bölüm'de anlattığım gibi). Newton yasalarına göre hareket eden bir grup atomu filme alıp bu filmi geriye doğru oynatırsanız, yine Newton yasalarıyla tutarlı bir olası tarih elde edersiniz. Ama termodinamiğin ikinci yasası tersinir değildir, çünkü entropinin her zaman arttığını ya da aynı kaldığını, asla azalmadığını söyler. Şüpheciler, zamanda tersinir olmayan bir yasanın zamanda tersinir yasalar, yani farazi atomların hareketlerini yöneten yasalardan türetilemeyeceğini iddia etti.

Bu konudaki doğru yanıt, Boltzmann'ın öğrencilerinden, daha sonra Einstein ile arkadaş olan Paul ve Tatiana Ehrenfest adında genç bir çift tarafından verilmiştir.[6] Ehrenfest'ler ikinci yasanın atom öncesi fizikte yanlış biçimde ifade edildiğini gösterdi. Entropi gerçekten de bazen azalıyordu, yalnızca böyle bir azalma pek muhtemel değildi. Yeterince uzun bir süre beklerseniz dalgalanmalar bazen bir sistemin entropisini düşürecek-

tir. Bu yüzden dalgalanmalar, termodinamik ile zamanda tersinir olan temel yasalara uyan atomların varlığı arasındaki çatışmayı ortadan kaldırmaya ilişkin öykünün zorunlu bir parçasıdır.

Yine de elimizdeki doğru resim bile gelecek için bir umut vermiyor gibi görünmektedir, çünkü bu ilkelere göre tüm yalıtılmış sistemler eninde sonunda denge durumuna varacaktır. Ondan sonra da birikimlerin getirdiği anlamlı bir değişim, yapılarda veya karmaşıklıkta herhangi bir artış görülmeyecek ve geriye gelişigüzel dalgalanmalardan başka hiçbir şeyin gerçekleşmediği sonsuz bir denge durumu kalacaktır.

Dengedeki bir evren karmaşık olamaz, çünkü onu denge durumuna getiren rastlantısal süreçler karmaşık yapılanmayı ortadan kaldırır. Ama bu, karmaşıklığın kendisini entropinin yokluğu ile ölçebileceğimiz anlamına gelmez. Karmaşıklığı tam olarak niteleyebilmek için dengedeki sistemlerin termodinamiğinin ötesindeki kavramlara ihtiyacımız vardır; bunlar, bir sonraki bölümün konusunu oluşturmaktadır.



Kozmolojiye, termodinamik penceresinden yaklaştığımızda, evrenin neden ilginç bir yer olduğu sorusu daha da gizemli bir hâl alır. Newton paradigması açısından evren, bir yasadaki denklemlerin çözümlerinden biri tarafından idare edilmektedir. Söz konusu yasa, genel görelilik ile Parçacık Fiziğinin Standart Modeli'nin bir birleşimiyle yaklaşık olarak elde edilebilir ve ayrıntıların önemi yoktur. Evreni idare eden çözüm, sonsuz sayıdaki olası çözüm arasından seçilmiştir ve Büyük Patlama sırasındaki ya da ona yakın bir dönemdeki başlangıç koşullarının seçilmesi ile belirlenebilir.

Termodinamikten öğrendiğimiz ise fizik yasalarına ilişkin hemen her çözümün denge durumunda bir evren betimlediğidir çünkü denge, tanımı gereği en olası konfigürasyonlardan oluşmaktadır. Dengenin bir başka etkisi, yasalara ilişkin sıradan çözümlerin zaman açısından simetrik olmasıdır. Yani daha düzenli

bir duruma yol açan yerel dalgalanmalar, daha az düzenli bir duruma yol açan dalgalanmalar kadar muhtemeldir. Filmi tersine oynatmak, aynı derecede muhtemel ve ortalamada zaman açısından aynı derecede simetrik bir tarih oluşturur. Genelde zamanın evrensel bir oku, yani yönü olmadığını söyleyebiliriz.

Bizim evrenimiz ise yasaların bu sıradan çözümlerine hiç benzemez. Şimdi Büyük Patlama'nın üzerinden 13 milyar yıldan uzun bir süre geçmiş olmasına rağmen, evrenimiz hâlâ dengede değildir. Evrenimizi betimleyen çözüm de zaman açısından asimetriktir. Evrenimizi betimleyen çözümün gelişigüzel seçilmiş olması hâlinde, bu özelliklerin ortaya çıkma olasılığı olağanüstü derecede düşüktür.

Evrenin neden ilgi çekici olduğu ve daha da ilgi çekici bir hâl alıyor gibi göründüğü sorusu, termodinamiğin ikinci yasasının milyarlarca yıl geçmesine rağmen neden evreni henüz rastlantısal bir hâle getirip ısıl dengeye sokmadığı sorusuna benzer.



Evrenimizin ısıl denge durumunda olmadığının en basit işareti, zamanın bir oku olmasıdır. Zamanın akışına güçlü bir asimetri damgasını vurmuştur: Geçmişten geleceğe doğru hareket ettiğimizi hisseder ve gözlemleriz.

Zamanın bir yönü olduğunu gösteren sayısız olgu bulunur. Birçok şeyi geri almak mümkün değildir (bir araba kazası, tehlikeli bir arkadaşımıza düşüncesizce söylediğimiz bir söz, dökülen bir bardak süt). Sıcak bir fincan kahve soğur ama bunun tersi olmaz; kahveyi karıştırınca şeker erir ama erimiş şeker geri gelmez; düşen fincanlar, kendi hâllerine bırakıldıklarında asla tekrar birleşmeyen parçalara bölünür. Hepimiz aynı yönde yaşlanırız; çok yaşlı insanların tekrar bebekliklerine döndüğü kitaplar ve filmler gerçek hayatta asla gerçekleşmeyecek birer fanteziden ibarettir.[7]

Denge durumunda, zamanın böyle bir oku yoktur. Dengede düzen ancak geçici olarak, rastlantısal bir dalgalanma sonucun-

da artabilir. Denge durumundan olan bu gibi sapmalar, ortalamada, film ileriye doğru oynatıldığında da geriye doğru oynatıldığında da aynı görünür. Dengedeki bir gazın atomlarını filme kaydedip bu filmi geriye doğru oynatırsanız, hangisinin orijinal film hangisinin geriye doğru oynatılan film olduğunu bilemezsiniz. Bizim evrenimiz ise böyle değildir.

Evrenimizde gözlemlediğimiz güçlü zaman oku açıklama gerektirir, çünkü temel fizik yasaları zaman açısından simetriktir. Bu yasalardaki denklemlere ilişkin tüm çözümlerin, tıpkı ilk çözüm gibi davranan ama filmi tersine oynatan bir hayalet eşi vardır (buradaki ilâve ayrıntı, sol ile sağın yer değiştirmesi ve parçacıkların yerini karşı parçacıkların almasıdır). Dolayısıyla bazı insanlar gerçekten geriye doğru yaşlansa ya da tezgâhta unutulan birkaç fincan kahve kendiliğinden ısınıverse veya kırılmış fincanlar bir anda eski hâllerine dönse temel yasalar ihlâl edilmiş olmaz.

Peki, bu tür şeyler neden asla gerçekleşmemektedir? Neden zamandaki bu farklı asimetriler hep aynı yöne, artan düzensizliğe işaret etmektedir? Bu soruna bazen *zamanın oku problemi* adı verilir.

Aslında evrenimizde zamanın birkaç farklı oku bulunur.

Evren daralmaz, genişler. Buna zamanın kozmolojik oku diyoruz.

Evrenin ufak parçaları kendi hâllerine bırakıldıklarında zaman içerisinde daha düzensiz bir hâl alır (dökülen süt, denge durumuna ulaşan hava, vs.) Buna *zamanın termodinamik oku* denir.

İnsanlar, hayvanlar ve bitkiler bebek olarak doğar, zamanla büyür, yaşlanır ve ölür. Buna da *zamanın biyolojik oku* adı verilebilir.

Zamanın geçmişten geleceğe doğru aktığını deneyimleriz. Geleceği değil, geçmişi hatırlarız. Bu da *zamanın deneyimsel okudur.*

Yukarıdakilerden daha az dikkat çekse de önemli bir ipucu sağlayan bir ok daha vardır. Işık, geçmişten gelip geleceğe doğru gider. Dolayısıyla gözlerimize ulaşan ışık, bize gelecekteki değil geçmişteki doğayı gösterir. Bu, *zamanın elektromanyetik oku* olarak bilinir.

Işık dalgaları elektrik yüklerinin hareketi sayesinde oluşur. Bir elektrik yükünü ileri geri hareket ettirip salladığınızda yayı-

lan ışık daima geleceğe doğru hareket eder, asla geçmişe gitmez. Aynı durum, kütleçekimi dalgaları için de geçerli görünmektedir. Yani *zamanın kütleçekim dalgası oku* da vardır.

Evrenimizde birçok kara delik bulunduğu anlaşılmaktadır. Kara delikler zaman içerisinde son derece asimetriktir. Herhangi bir şey kara deliğe düşebilir ama kara delikten çıkan tek şey Hawking ısıl ışımasıdır. Bir kara delik, herhangi bir şeyi yutup denge durumundaki bir foton gazına dönüştüren bir araçtır. Bu tersinir olmayan süreç bol miktarda entropi üretir.

Peki ya beyaz delikler? Bu farazi nesneler, kara deliklerde zamanın yönünü tersine çevirerek elde edilen genel görelilik çözümleridir. Beyaz deliklerin davranışı, kara deliklerin tam aksidir. Hiçbir şey bir beyaz deliğe düşemez ama beyaz delikten her şey çıkabilir. Beyaz delikler aniden ortaya çıkan bir yıldız gibi görünebilir; çökerek kara delik oluşturan bir yıldızı kaydedip filmi tersine oynattığınızda göreceğiniz de budur. Gökbilimciler, beyaz delik olarak yorumlayabileceğimiz herhangi bir şey gözlemlememiştir.

Yalnızca kara delikleri bile dikkate alsanız, evrenimizin tuhaf bir özelliği vardır. Genel görelilik denklemlerine göre, evren pekâlâ kara deliklerle dolu bir şekilde de başlayabilirdi. Ama 11. Bölüm'de belirttiğimiz gibi, gördüğümüz kadarıyla erken evrende hiç kara delik yoktu. Bildiğimiz tüm kara delikler bundan çok sonra büyük kütleli yıldızların çökmesiyle oluşmuştur.

Evrenimizde neden sadece kara delikler bulunur ve hiç beyaz delik yoktur? Neden evren kara deliklerle dolu bir şekilde başlamamıştır? Erken evrende kara delik olmaması, *zamanın bir kara delik okuna* sahip olduğunu gösterir.

Evrenin diğer ucunda bu zaman oklarından bazılarının tersine işlediği bir gökada olabilir mi? Bu yönde bir kanıt yoktur. Zaman oklarının çeşitli yerlerde tersine işlediği bir evrende yaşıyor olabilirdik ama anlaşıldığı kadarıyla evrenimiz böyle değil. Peki, neden?

Zamanın bu farklı okları, evrenimize ilişkin açıklanması gereken olgulardır. Bunlara ilişkin olarak önerilen açıklamalar, za-

manın doğasına dair varsayımlara dayanır. Zamanın, zaman dışı bir âlemden ortaya çıktığına inanan birinin önerdiği açıklama, zamanın temel ve gerçek olduğuna inanan birinin önereceği açıklamadan farklı olacaktır.

Fizik yasalarının tersinir olup olmadığı sorusu da bu konuyla ilişkilidir. 5. Bölüm'de de belirtildiği gibi, doğa yasalarının zamanda tersinir olması, zamanın temel olmadığı görüşünü destekleyen bir delil olarak kabul edilebilir. Doğa yasaları zaman içerisinde tersinir ise zamanın oklarını nasıl açıklayacağız? Zamanın her oku, zamanda bir asimetriyi temsil eder; zaman açısından simetrik olan yasalar bu okları nasıl oluşturmuş olabilir?

Bu sorunun yanıtı şudur: yasalar, başlangıç koşulları üzerinde etki eder. Yasalar, zamanın yönünün tersine çevrilmesi açısından simetrik olabilir ama başlangıç koşullarının da öyle olması şart değildir. Başlangıç koşulları, kendilerinden son derece farklı nihai koşullara evrimleşebilir. Hatta böyle de olmuştur: Evrenimizdeki başlangıç koşulları, zamanda asimetrik bir evren oluşturacak şekilde incelikle ayarlanmış gibi görünmektedir.

Bir örnek verelim. Evrenin başlangıç koşulları tarafından belirlenen ilk genişleme hızı, gökada ve yıldız üretimini azami seviyeye çıkarmış gibi görünmektedir. Bu hız biraz daha yüksek olsaydı, evren gökada ve yıldızların oluşamayacağı kadar çabuk seyrelecekti. Çok yavaş olsaydı, daha yıldızlar oluşmaya fırsat bulamadan evren doğrudan doğruya çökerek nihai bir tekillik oluşturabilirdi. Genişleme hızı, birçok yıldız oluşturmak için idealdi; yıldızlar da milyarlarca yıl boyunca soğuk uzaya sıcak fotonlar boşaltarak evrenin dengeye ulaşmasını engellemiş, böylece zamanın termodinamik okunu açıklamayı mümkün kılmıştır.

Zamanın elektromanyetik oku da zaman açısından asimetrik başlangıç koşulları sayesinde açıklanabilir.[8] Evrenin başlangıcında elektromanyetik dalgalar yoktu. Işık daha sonra maddenin hareketi sonucunda ortaya çıkmıştır. İşte bu nedenle etrafımıza baktığımızda ışığın taşıdığı görüntüler evrendeki madde hakkında bize bilgi verebiliyor. Yalnızca elektromanyetizma yasaları söz konusu olsaydı durum farklı olabilirdi. Elektromanye-

tizma denklemleri, evren başlar başlamaz ışığın özgürce hareket etmesine izin verir. Yani ışık, daha sonra maddeden salınmak yerine doğrudan Büyük Patlama sırasında ortaya çıkmış olabilirdi. Böyle bir evrende maddeden kaynaklanan ışığın taşıdığı maddeye ait görüntüler, doğrudan Büyük Patlama'dan gelen ışığın altında kaybolurdu.

Böyle bir dünyada, teleskoplarımızla gözlem yaptığımızda yıldızları ve gökadaları göremezdik. Gelişigüzel bir karmaşa görebilirdik. Hatta Büyük Patlama'dan gelen ışık hiçbir zaman gerçek olmamış şeylere ilişkin görüntüler de taşıyor olabilirdi, dev kuşkonmaz otları atıştıran fillerle dolu bir bahçe gibi.

Uzak gelecekteki evrenin filmini kaydedip bu filmi tersine oynatabilsek, evren böyle görünürdü. Çok uzak gelecekte etrafta dolaşan, bir zamanlar var olmuş şeylere ait birçok görüntü olacaktır. Ama filmi tersine oynatırsak, henüz olmamış şeylere ait imgelerle dolu bir evren görürüz. Hatta görüntüyü taşıyan ışık, görüntünün temsil ettiği olaya doğru akarak orada sona ererdi. Göreceğimiz ışık, bize yalnızca henüz gerçekleşmemiş olaylara ilişkin bilgi verirdi.

Yaşadığımız evren böyle değildir ama eğer olası evrenler fizik yasalarının çözümlerine karşılık geliyorsa öyle olabilirdi. Neden meydana gelmekte veya gelmiş olan şeyleri gördüğümüzü ama henüz meydana gelmemiş ya da asla gelmeyecek şeyleri görmediğimizi açıklayabilmek için katı başlangıç koşulları belirlememiz gerekir. Bu koşullar, evrenin başlangıcında görüntü taşıyan ve serbestçe dolaşan ışık bulunmasını yasaklar. Söz konusu olan son derece asimetrik bir başlangıç koşuludur ama zamanın elektromanyetik okunu açıklayabilmek için bunu yapmak şarttır.

Benzer bir öykü, zamanın kütleçekim dalgası ve kara delik okları için de geçerlidir. Eğer temel yasalar zaman açısından simetrik ise evrenimizin neden zaman açısından asimetrik olduğunu açıklama yükü, tamamen seçilen başlangıç koşullarına düşer. Bu yüzden başlangıçta evrende serbestçe dolaşan kütleçekimi dalgalarının da ilkel ya da erken kara deliklerin de beyaz deliklerin de olmaması koşulunu getirmek zorunda kalırız.

Aynı hususu vurgulayan Roger Penrose, bunu açıklayabilmek için *Weyl eğriliği hipotezi* adını verdiği bir ilke önermiştir.[9] Weyl eğriliği, eğer kütleçekim ışıması ya da kara veya beyaz delikler mevcutsa sıfırdan farklı bir değer alan matematiksel bir niceliktir. Penrose'un önerdiği ilke, başlangıçtaki tekillikte bu niceliğin ortadan kaybolduğunu söyler. Penrose, bu durumun erken evren hakkında bildiklerimizle uyumlu olduğuna dikkat çeker. Önerdiği zaman açısından asimetrik bir koşuldur, çünkü evrenin daha sonraki dönemleri için kesinlikle doğru değildir. Daha sonraki dönemlerde evrende birçok kütleçekimi dalgası ve birçok kara delik bulunur. Dolayısıyla der Penrose, gördüğümüz evreni açıklayabilmek için (zaman açısından simetrik olan) genel görelilik yasalarının çözümlerine ilişkin seçim, zaman açısından asimetrik olan bu koşula uygun olmalıdır.

Evrenimizi açıklamak için zaman açısından asimetrik başlangıç koşullarına ihtiyaç duyuyor olmamız, doğa yasalarını zaman açısından simetrik olduğu için zamanın gerçek olamayacağını iddia eden savı büyük oranda zayıflatır. Evrenimize kabaca benzerlik sağlamak için bile evrim sonucunda ortaya çıkan koşullara hiç benzemeyen başlangıç koşulları seçmek zorunda kalıyorsak, bu başlangıç koşullarının rolünü göz ardı edip geçmişin geleceğe benzediğini söyleyemezsiniz.[10]

Bu durumda, açıklamayı başlangıç koşullarının nasıl seçildiğinde aramamız gerekir. Ama başlangıç koşullarının nasıl seçildiğine ilişkin makul bir açıklamaya sahip değiliz, dolayısıyla bir çıkmaza giriyor ve evrenimiz hakkındaki kritik bir soruyu yanıtlayamıyoruz.

Çok daha basit başka bir seçenek de var. Elimizdeki yasaların daha derin bir yasanın kaba bir tahmininden ibaret olduğuna inanıyoruz. Ya bu daha derin yasa zaman açısından asimetrikse?

Eğer temel yasa zaman açısından asimetrikse bu yasanın çoğu çözümü de aynı şekilde asimetrik olacaktır.[11] Bu durumda, neden asla doğal süreçlerin tersine işlemesinden kaynaklanan çılgınca şeyler gözlemlemediğimizi kolaylıkla açıklayabiliriz, çünkü yasanın çözümlerinden birinin zamanda tersine çevrilmiş hâli

artık bir çözüm olmayacaktır. Neden gelecekten değil de geçmişten gelen imgeler gördüğümüze ilişkin gizem böylelikle çözülmüş olur. Evrenin zaman açısından yüksek derecede asimetrik olması, temel yasanın zaman açısından asimetrik olmasıyla açıklanır. Zaman açısından asimetrik olan bir evren artık uzak bir olasılık olmaktan çıkıp zorunlu hâle gelir.

Penrose'un, Weyl eğriliği hipotezini bunları düşünerek öne sürdüğü kanısındayım. Başlangıç tekilliğinin yakınlarındaki fizik ile evrenin daha sonraki dönemlerindeki fizik arasındaki fark, Penrose'un son derece asimetrik bir kuram olması gerektiğini söylediği kuantum kütleçekimi kuramından kaynaklanan bir zorunluluk olacaktır. Fakat zaman ortaya çıkan bir olgu ise zaman açısından asimetrik bir kuram doğal değildir. Eğer temel kuramda zaman kavramının yeri yoksa geçmiş ile geleceği birbirinden ayırmamız mümkün olmaz. Son derece düşük olasılıklı evrenimiz için yine bir açıklama bulmamız gerekir.

Eğer zaman temel ise zaman açısından asimetrik bir kuram çok daha doğal olacaktır. Aslında geçmiş ile gelecek arasında ayrım gözeten bir kuramdan daha doğal hiçbir şey olamaz, çünkü geçmiş ve gelecek birbirinden çok farklıdır. Zaman kavramı ile anların geçmişten geleceğe akışının gerçek olduğu bir metafizik çerçevede, zaman açısından asimetrik olan bir evreni zaman açısından asimetrik olan yasaların yönetmesi çok doğaldır. Dolayısıyla bütün bu hususlar zamanın gerçekliğini daha inanılır bir hâle getirir, çünkü zamanın gerçekliği son derece düşük olasılığa sahip bir olguyu, yani evrenimizdeki güçlü zaman asimetrisini açıklamamızı mümkün kılar. Bunu, zamanın keşfinde bir başka adım olarak kabul edelim.



Evrenimizin düşük olasılıklı olduğunu söyleyebilir miyiz?

Bu bölümde birçok kez evrenimizin ya da evrenimizin başlangıç koşullarının düşük olasılıklı olduğunu söyledim. Örneğin, zaman açısından simetrik yasalarla yönetilen bir evrende zama-

nın bir oka sahip olması ihtimalinin düşük olduğunu iddia ettim. Peki ama evrenin düşük olasılıklı olduğunu söylemek ne manaya gelir? Evren eşsizdir ve yalnızca bir kere ortaya çıkmıştır. Türünün tek örneğidir. Herhangi bir özelliğinin bir olasılığının olması gerekmez mi?

Bu karmaşayı çözmek için bir sistemin düşük olasılıklı bir konfigürasyonda olduğunu söylediğimizde ne kastettiğimizi bilmemiz gerekir. Newton paradigmasında bu ifade anlamlıdır, çünkü betimleme evrenin bir alt sistemine atıfta bulunur ve bu alt sistem aynı tipteki birçok sistemden biri olabilir. Ama betimlemenin tüm evren için geçerli olmadığı açıktır.

Evrenimizin belirli bir özelliğe sahip olmasına ilişkin olasılığı tanımlamak için başlangıç koşullarının konfigürasyon uzayı içerisinden gelişigüzel bir şekilde seçildiğini varsayabilirsiniz. Ama bu varsayımın yanlış olduğunu biliyoruz: Evrenimizin gelişigüzel bir seçim sonucu ortaya çıkmadığını biliyoruz, çünkü birçok özelliğinin böyle bir seçimden kaynaklanmış olma ihtimali olağanüstü derecede düşüktür.

Çok sayıda evren olduğunu kabul ederek bu açmazdan kurtulabilirsiniz. Ancak 11. Bölüm'de de gördüğümüz gibi, iki tür çoklu evren kuramı vardır: sonsuz şişme kuramlarında olduğu gibi, evrenimizin sıra dışı ve dolayısıyla düşük ihtimalli olduğu kuramlar ile kozmolojik doğal seçilim gibi, bizimkine benzer evrenlerin muhtemel olduğu bir grup evren üreten kuramlar. 11. Bölüm'de de açıkladığım gibi, yapılabilir gözlemlerle çürütülebilir öngörüler yalnızca ikinci tür kuramlarda mümkündür; ilk grupta bizimkine benzer düşük olasılıklı evrenleri seçmek için insancı ilkenin kullanılması gerekir ve senaryonun dayandığı hipotezleri bağımsız olarak test etmemizi sağlayacak öngörülerde bulunmak imkânsızdır. Buradan çıkan sonuç şudur: ister birçok evren bulunsun ister yalnızca bir, evrenimizin düşük olasılıklı olduğu ifadesi deneysel açıdan anlamsızdır.

Oysa tüm termodinamik bilimi, olasılık kavramlarının bir sistemin mikro durumuna uygulanmasına dayanır. Demek oluyor ki termodinamik kurallarını tüm evrenin sahip olduğu bir özel-

liğe her uyguladığımızda kozmolojik yanılgıya düşüyoruz.[12] Bu yanılgıdan ve düşük olasılıklı bir evren paradoksundan kurtulmanın tek yolu, evrenin neden karmaşık ve ilgi çekici olduğu konusundaki açıklamamızı zaman açısından asimetrik olan bir fiziğe (yani bizimki gibi bir evreni düşük olasılıklı değil, kaçınılmaz hâle getiren bir fiziğe) dayandırmaktır.

Bu, fizikçilerin termodinamiği tüm evrene uygulama yanılgısına düşüp paradoks niteliğinde sonuçlara vardıkları tek örnek değildir. Entropinin ve termodinamiğin ikinci yasasının istatistiksel açıklamasını ortaya koyan Ludwig Boltzmann, evrenin neden dengede olmadığı sorusuna bir yanıt öneren ilk kişidir. Boltzmann, evrenin genişlediğinden ve Büyük Patlama'dan haberdar değildi; onun kozmoloji kavramı, ebedi ve durağan bir evren öngörüyordu. Evrenin ebedi oluşu onun için büyük bir gizemdi çünkü bu, evrenin çoktan denge durumuna ulaşmış olması gerektiği anlamına geliyordu. Ne de olsa bunu yapmak için sonsuz zamana sahipti.

Evrenin neden dengede olmadığı konusunda Boltzmann'ın aklına gelen bir açıklama, güneş sistemimiz ile çevresindeki bölgede nispeten kısa süre önce oldukça büyük bir dalgalanma gerçekleşmiş olmasıydı. Güneş, gezegenler ve etraftaki yıldızlar, bu dalgalanma sonucunda denge durumundaki gazdan birden bire oluşmuş olmalıydı. Şimdi de içinde bulunduğumuz bölge denge durumuna geri dönerken entropi artıyordu. Bu, muhtemelen 19. yüzyılın sonunda Boltzmann'ın elindeki kozmoloji resmiyle en uyumlu yanıttı. Ne var ki bu yanıt yanlıştır. Artık yanlış olduğunu biliyoruz, çünkü neredeyse Büyük Patlama'ya kadar geçmişi ve buna karşılık gelen 13 milyar ışık yılı çapındaki bir alanı görebiliyoruz. Evrenin içinde bulunduğumuz bölgesinin, denge durumundaki durağan bir doğada gerçekleşen bir düşük entropi dalgalanması olduğuna dair bir kanıt göremiyoruz. Bunun yerine evrenin zamanla evrimleştiğini, evren genişledikçe sahip olduğu her ölçekteki yapıların da geliştiğini görüyoruz.

Boltzmann'ın bunu bilmesi mümkün değildi ama öne sürdüğü açıklamayla ilgili şüphe yaratacak ve kendisi veya çağdaşla-

rı tarafından kullanılabilecek bir sav vardı. Bu sav, bir dalgalanma ne kadar küçükse denge durumunda o kadar sık ortaya çıkacağı yönündeki gözlemden kaynaklanıyordu. Dolayısıyla uzayın denge durumundan ayrılan bölgesi ne kadar küçükse meydana gelme olasılığı da o kadar yüksektir.

Boltzmann'ın çağdaşı gökbilimciler, evrenin en azından on binlerce ışık yılı boyunda olduğunu ve milyonlarca yıldız içerdiğini biliyorlardı. Yani eğer uzayın içinde yaşadığımız bölgesi bir dalgalanma sonucunda meydana geldiyse, bu son derece ender (bizi de içermesi mümkün daha küçük diğer dalgalanmalardan çok daha ender) bir dalgalanma olmalıydı. Yalnızca güneş sistemimizi içeren bir dalgalanma hayal edin. Böyle bir dalgalanmayı deneyimlemediğimizi biliyoruz, çünkü aksi halde geceleri tek görebildiğimiz şey, bizi çevreleyen denge halindeki gazın yaydığı kızılötesi ışıma olurdu. Ancak Boltzmann'ın varsayımlarına göre böyle dalgalanmalar, dengedeki evrende bizim gözlemlediğimizden (ki her biri denge durumundan en az bizim güneş sistemimiz kadar uzak milyarlarca yıldızdan bahsediyoruz) çok daha sık gerçekleşmelidir. Kendimizi galaksi boyutundaki bir dalgalanma içinde bulma olasılığı güneş sistemi boyutunda bir dalgalanma içerisinde bulma olasılığından çok daha küçüktür.[13]

Böyle devam edebiliriz. Güneş sisteminin büyük kısmı varlığımız açısından gereksizdir. Dolayısıyla kendimizi Güneş'ten, diğer yedi gezegenden, kuyrukluyıldızlardan ve tüm bu şatafattan oluşan bir güneş sisteminde değil de gökyüzünde sıcak bir noktaya sahip bir Dünya'da bulma ihtimalimiz çok daha yüksektir. Ama bu sadece başlangıçtır. Aslında tek bildiğimiz, bir gezegende bulunduğu algısına sahip düşünen varlıklar olduğumuz. Ama anılara ve imgelere sahip bir beyin oluşturmak için gereken dalgalanma, dev bir yıldız etrafında dönen, canlılarla dolu bir gezegen yaratmak için gereken dalgalanmadan çok daha küçüktür. Hayali bir âleme dair anılara ve deneyimlere sahip tek bir beyin yaratan bir dalgalanmaya *Boltzmann beyni* diyoruz.

Demek ki Boltzmann'ın ebedi denge evreninde, düşük ihtimalli varlığımızı bir dalgalanma olarak açıklayan farklı olasılıklar bu-

lunmaktadır. Güneş sistemi boyutundaki ya da gökada boyutundaki bir dalgalanmanın içerisinde, bir gezegende yaşayan trilyonlarca yaratıktan biri de olabiliriz, imgelere ve anılara sahip bir beyin boyutundaki bir dalgalanma da. İkinci ihtimal çok daha az bilgiye, yani daha az negatif entropiye ihtiyaç duyar. Bu nedenle ebedi evrende tek başına beyinler yaratan dalgalanmalar, içinde geniş beyin toplulukları barındıran güneş sistemi boyutundaki ya da gökada boyutundaki dalgalanmalardan daha sık gerçekleşir.

Bu durum, *Boltzmann beyni paradoksu* olarak bilinir: Paradoks, sonsuz bir zaman aralığı dikkate alındığında, evrendeki küçük dalgalanmalardan oluşan beyinlerin, milyarlarca yıllık bir dalgalanmaya gereksinim duyan yavaş evrim süreciyle oluşmuş beyinlerden çok daha fazla sayıda olacağını söyler. Yani bilinç sahibi varlıklar olarak, aslında birer Boltzmann beyni olma ihtimalimiz ezici derecede yüksektir. Ama birden bire oluşmuş bu tür beyinlerden olmadığımızı biliyoruz, çünkü öyle olsaydık deneyimlerimiz ve anılarımız büyük olasılıkla tutarlı değil tutarsız olurdu. Beyinlerimizde gökadalar ve yıldızlardan oluşan engin bir evrene ait imgeler bulunması ihtimali de düşük olurdu. Bu nedenle, Boltzmann'ın senaryosunun klasik bir *gülünç öneri* örneği olduğu anlaşılır.

Buna şaşırmamamız gerekir: kozmolojik yanılgıya düştük ve bu yanılgı bizi bir paradoksa götürdü. Newton paradigmasına dayanan zaman dışı fizik görüşü, evrene ilişkin en temel sorularla karşılaştığında yetersiz kaldığını göstermiştir: Evren neden ilgi çekicidir? Neden gerçekten de kendisini hayretle inceleyen bizim gibi yaratıkların varlığını mümkün kılacak kadar ilgi çekicidir?

Ama zamanın gerçek olduğu düşüncesini benimsersek, evrenin doğal yollardan karmaşık yapıların evrimleşmesine izin veren ve zaman açısından asimetrik olan bir fiziğe imkân tanımış oluruz. Böylece, düşük olasılıklı bir evren paradoksundan da kurtulmuş oluruz.

Zamanın Isı ve Işıktan Yeniden Doğuşu

GEÇEN BÖLÜMDE, EN BÜYÜK kozmolojik gizemlerden birini inceledik: evren neden ilgi çekicidir ve neden zaman geçtikçe daha da ilgi çekici bir hâl almaktadır? Bu durumu Newton paradigmasının işaret ettiği zaman dışı resim temelinde anlama çabalarının iki paradoksa neden olduğunu gördük: eşsiz evrenin düşük olasılıklı olduğu iddiası ile Boltzmann beyni paradoksu. Bu bölümde, 10. Bölüm'de ortaya koyulan yeni kozmolojik kuramın ilkelerinin evrenin neden ilginç bir yer olduğunu anlamamızı nasıl sağladığını ve bunu yaparken geçen bölümde karşılaştığımız paradokslardan nasıl kaçındığını açıklayacağım.

Basit bir soruyla başlayacağız: Evren, birbirinin tamamen aynı iki an içerebilir mi?

Zamanın bir oku olması, her anın eşsiz olduğu anlamına gelir. En azından bugüne kadar, zamanın farklı anlarında evren de farklıdır; bu farklılıklar örneğin, gökadaların özelliklerinden ya da elementlerin göreli bolluklarından anlaşılabilir. Sorulması gereken soru, anların akışının tesadüfi mi olduğu yoksa daha derin bir ilkeyi mi yansıttığıdır. Newton paradigması kapsamında betimlenen kuramlarda, zamanın okunun varlığı tesadüfi görünür. Denge durumundaki ebedi bir evrende birçok anın birbiriyle aynı ya da birbirine benzer olmasını bekleriz.

Ancak zamandaki hiçbir anın bir diğeri ile aynı olamayacağını söyleyen daha derin bir ilke vardır. Bu ilke, 10. Bölüm'de Leibniz'in yeterli neden ilkesinin bir sonucu olarak betimlediğim *ayırt edilemeyenlerin özdeşliği* ilkesidir. Söz konusu ilke, evrende birbirinden ayırt edilemeyen ama farklı iki nesne olamayacağını söyler. Bu düşünce sadece bir sağduyudan ibarettir. Eğer nesneler yalnızca gözlenebilir özellikleri sayesinde birbirlerinden ayrılabiliyorsa, tamamen aynı özelliklere sahip iki nesneyi birbirinden ayırmak imkânsızdır.

Leibniz'in ilkesinin temelinde, cisimlerin fiziksel özelliklerinin ilişkisel olduğu fikri bulunur. Biri yatak örtüsündeki bir atomda diğeri de Ay'ın karanlık yüzündeki bir dağın tepesinde bulunan iki elektronu ele alalım. Bu parçacıklar aynı değildir, çünkü özelliklerinden biri, bulundukları konumdur. İlişkisel açıdan, çevreleri birbirlerinden ayırt edilebildiği için parçacıkların da ayırt edilebilir olduğunu söyleyebiliriz.[1]

Mutlak uzay diye bir şey yoktur, dolayısıyla belirli bir noktada neler olduğunu sormadan önce, o noktayı nasıl tanıyacağımızı belirtmeniz şarttır. Yani bir noktada bulunan bir nesneyi bulabilmek için o noktayı tarif edebilmemiz gerekir. Nerede olduğunuzu saptamanın bir yolu, oradan görülen manzarada nelerin eşsiz olduğuna bakmaktır. Biri, uzaydaki iki nesnenin özelliklerinin ve çevresinin tamamen aynı olduğunu iddia ediyor diyelim. Bu, söz konusu iki nesneden ne kadar uzağa bakarsanız bakın uzaydaki diğer her şeyin aynı şekilde düzenlendiğini göreceğiniz anlamına gelir. Eğer bu tuhaf durum gerçek olsaydı, bir gözlemciye nesnelerden birini diğerinden nasıl ayırt edeceğini söyleyemezdik.

Yani doğadan birbirinin aynı iki nesne bulundurmasını istemek, aslında imkânsızı istemektir. Bu, evrende birbirinin aynı iki yer (evrenin tamamen aynı göründüğü iki konum) olması gerektiği anlamına gelir. O halde evrenin tüm yapısı, önemli ölçüde, ilk bakışta basit gibi görünen birbirinin aynı iki nesne bulundurmaması kuralına göre biçimlendirilecektir.[2]

Aynı düşünce uzay-zamandaki olaylar için de geçerlidir. Ayırt edilemeyenlerin özdeşliği ilkesi, uzay-zamanda gözlenebilir özel-

likleri tamamen aynı iki olay bulunamaz der. Birbirinin tamamen aynı iki an da olamaz.

Gece gökyüzüne baktığımızda evreni belirli bir yerden, zamanın belirli bir anında görürüz. Bu manzara, bize uzaktan ve yakından ulaşan tüm fotonları da içerir. Eğer fizik ilişkisel ise bu fotonlar söz konusu olayın, yani o yerde ve o anda gökyüzüne bakmanızın özündeki gerçekliği oluşturur. Öyleyse ayırt edilemeyenlerin özdeşliği ilkesi, bir gözlemcinin evren tarihi boyunca gerçekleşmiş her olaydan baktığında eşsiz bir evren manzarası ile karşılaşacağını söyler. Uykunuzda uzaylılar tarafından kaçırıldığınızı ve zaman makineleriyle bir gezintiye çıkartıldığınızı düşünün. Bir anda uyanıp kendinizi evinizden çok uzaktaki bir gökadada buluyorsunuz. Böyle bir durumda ilkesel olarak, çevrenize bakıp gördüklerinizin bir haritasını çizerek tam olarak nerede olduğunuzu bulabilirdiniz. Üstelik sizi, evrende hangi zamana taşıdıklarını da tam olarak bilebilirdiniz.

Bu, evrenimizde tam simetriler olamayacağı anlamına gelir. 10. Bölüm'de anlatıldığı gibi, evrenimiz gerçekten de böyle simetrilere sahip değildir. Simetriler evrenin küçük parçalarına ilişkin modellerin analizinde faydalı olsalar da şimdiye kadar fizikçiler tarafından ortaya atılan tüm simetrilerin kaba birer tahminden ibaret olduğu ya da bozuk olduğu anlaşılmıştır.

Ayırt edilemeyenlerin özdeşliği ilkesine göre, evrenimiz zaman içerisindeki tüm anların ve herhangi bir anda tüm yerlerin birbirinden eşsiz bir şekilde farklı olduğu bir evrendir. Hiçbir an asla tekrar edilmez. Yeterince ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde, evrendeki tüm olaylar eşsizdir. Böyle bir evrende, Newton paradigmasına anlam verebilmek için gereken koşullar asla tam olarak gerçekleşemez. Daha önce de belirtildiği gibi, Newton paradigması yinelenebilir olup olmadıklarını görmek ve genel bir yasanın etkisini başlangıç koşullarının değiştirilmesinden kaynaklanan etkilerden ayırabilmek için deneyleri defalarca tekrarlamamızı gerektirir. Bu amaca ancak yaklaşabiliriz, asla tam olarak erişemeyiz. Çünkü dikkate aldığımız ayrıntı sayısı arttık-

ça, hiçbir olayın ya da deneyin bir diğeriyle tamamen aynı olamayacağı gerçeği daha belirgin bir hâl alır.

Zamanın her anının ve tüm olayların eşsiz olduğu farazi evrenlere bir isim vermek faydalı olacaktır. Ayırt edilemeyenlerin özdeşliği ilkesini karşılayan bu evrenlere *Leibniz evrenleri* adını vereceğiz.

Bu tür evrenler, Ludwig Boltzmann tarafından ortaya atılan evrenlerin tam aksidir. Boltzmann'ın kozmoloji görüşünde, evren tarihinin büyük kısmı, ısıl dengenin hüküm sürdüğü dönemlerden oluşur. Entropi azami seviyededir ve herhangi bir yapı ya da düzen yoktur. Bu uzun, ölüme benzer dönemler, istatistiksel bir dalgalanma sonucunda yapıların ve düzenin ortaya çıktığı, sonra da entropinin artma eğilimi nedeniyle bu yapıların ve düzenin yok olduğu görece kısa dönemlerle sekteye uğrar. Bu tür bir evrene de *Boltzmann evreni* diyebiliriz.

Gelecek, şu soruya bağlıdır: Bir Boltzmann evreninde mi yoksa bir Leibniz evreninde mi yaşıyoruz? Leibniz evrenlerinde zaman, hiçbir anın bir diğerine benzememesi anlamında gerçektir. Bir Boltzmann evreninde ise tekrar eden birçok an bulabilirsiniz; bu anlar tamamen aynı olmasa da birbirilerine istediğiniz kadar benzeyebilir. Boltzmann evrenlerindeki çoğu an kabaca diğerlerine benzer, çünkü denge durumdaki tüm anlar aşağı yukarı aynıdır. Sıcaklık ve yoğunluk gibi ortalamalara ilişkin toplu nicelikler her yerde aynıdır. Evet, atomlar ortalamalar etrafında dalgalanma gösterir ama bu neredeyse hiçbir zaman makroskobik yapıların ve düzenin ortaya çıkması için yeterli değildir. Bir Boltzmann evreninde, eğer yeterince beklerseniz, evren herhangi bir konfigürasyonu tekrar etmeye istediğiniz kadar yaklaşacaktır. Ortalamada, bu yakın yinelenmeler arasında Poincaré yinelenme süresi kadar bir zaman geçer. Ama eğer zaman ebedi ise her an sonsuz kez tekrar eder.

Bir Leibniz evreni ise bunun tam tersidir: Tanımı gereği, bir Leibniz evrenindeki hiçbir an asla tekrarlanmaz. Bir evren hem Boltzmann hem de Leibniz evreni olamaz. Peki, bizimki hangisi?

Eğer zaman gerçekse, zamanda iki farklı ama özdeş an bulunmamalıdır. Zaman, yalnızca Leibniz evrenlerinde tamamen gerçektir. Leibniz evrenleri geniş bir yelpazede eşsiz örüntüler ve yapılar üreten karmaşıklıkla dolu olacaktır. Her anın bulundurduğu yapılar ve örüntüler sayesinde diğer tüm anlardan ayırt edilebilmesini sağlamak için de Leibniz evreni sürekli değişecektir. Evrenimiz de işte böyledir.



Evrenimizin ayırt edilemeyenlerin özdeşliği ilkesi gibi önemli bir ilkeyi karşıladığını bilmek güzel ama bu durum tüm gizemi ortadan kaldırmıyor. Zira madde üzerinde etki eden, ilkeler değil yasalardır. İlkenin, yasalar aracılığıyla nasıl yerine getirildiğini bilmemiz gerekir. Aslında sorunun yanıtını bir ölçüde biliyoruz. Bu yanıt, kütleçekimi ile termodinamik arasındaki çarpık ilişkide yatmaktadır.

İçinde yaşadığımız Leibniz evreninin bir bileşeni neredeyse ısıl dengeye ulaşmış durumdadır; bu bileşen kozmik mikrodalga fonudur. Ancak Büyük Patlama'dan yaklaşık 400 bin yıl sonra ortaya çıkmış olan KMF'nin (kozmik mikrodalga fonunun) evrenin ilk dönemlerine ait bir kalıntı olduğunu biliyoruz. Yıldızlararası ve gökadalararası geniş bölgeler kesinlikle denge durumunun hâkimiyeti altındadır. Ancak yine de evrenin büyük kısmı denge durumundan çok uzaktır. Evrenimizde en sık karşılaşılan nesneler yıldızlardır ve yıldızlar çevreleri ile denge içerisinde değildirler. Bir yıldız, çekirdeğindeki nükleer tepkimelerde üretilen ve yıldızı parçalamaya çalışan enerji ile çökmesini sağlamaya çalışan kütleçekimi arasında dinamik bir dengeye sahiptir. Boltzmann'ın denge dediği duruma ise ancak nükleer yakıtını bitirip bir beyaz cüce, nötron yıldızı veya kara delik olarak çöktüğünde ulaşacaktır (tabii bir kara delik oluşturması hâlinde çevresinde topladığı maddeyi uzaklara fırlatan bir sistemin motoru haline gelebildiği durumlar hariç). Böyle sistemler denge durumunda değildir; bunlar, dinamik kararlı durumlar olarak bilinir.

Bir yıldız, içindeki kararlı enerji akışı nedeniyle denge durumundan uzağa sürüklenen bir sistem olarak nitelendirilebilir. Enerji, hem nükleer enerjiden hem de kütleçekimsel potansiyel enerjiden gelir ve yavaşça farklı frekanslarda yıldız ışığına dönüştürülür. Yıldız ışığı daha sonra bizimki gibi gezegenlerin yüzeylerini aydınlatarak onları da denge durumundan uzağa sürükler.

Bu, genel bir ilke için örnek oluşturur[3]: *Açık sistemlerden geçen enerji akışı, bu sistemleri daha yüksek düzen seviyelerine doğru itme eğilimindedir.* (Çevreleri ile enerji alışverişinde bulunabilen tüm sınırlı sistemlerin "açık sistemler" olduğunu hatırlayın.) Buna *güdümlü kendini düzenleme* ilkesi diyebiliriz. Eğer yeterli neden ilkesi doğadaki en önemli açıklayıcı ilke ve ayırt edilemeyenlerin özdeşliği onun prensi ise güdümlü kendini düzenleme ilkesi de çeşitliliğe sahip, karmaşık bir evrenin ortaya çıkması için sayısız yıldız ve gökadadaki ayrıntılarla uğraşan iyilik meleğidir.

Bir kaba su doldurup ocağa koyun. Bu sistem (kap ile içerisindeki su) açık bir sistemdir, çünkü alttan yavaşça enerji verilmekte, bu enerji suyu ısıttıktan sonra yüzeyden havaya karışmaktadır. Örneği daha da basitleştirmek adına, buharlaştığında bile suyun kaçmasını önlemek için kabın kapağını kapatalım. Bir süre sonra su, hem sıcaklığının hem de yoğunluğunun her yerde aynı olmadığı kararlı bir duruma ulaşacaktır. Suyun sıcaklığı kabın dibinde en yüksek değerdedir ve yüzeye doğru azalır; yoğunluk ise bunun tam aksi biçimde davranır. Suyun içinden geçen enerji, suyu içinde bulunduğu denge durumundan çıkartmıştır. Kısa sürede bir yapı ortaya çıkar: suyun, sütunlar hâlinde düzenli bir şekilde hareket etmesini sağlayan konveksiyon döngüleri. Döngüleri, kabın altından verilen ısı tetikler. Su ısınır, genleşir ve dolayısıyla yükselen bir su sütunu hâlinde yukarı çıkar. Yüzeyde ısısının bir kısmını kaybeder, çevresinden daha yoğun bir hâle gelir ve batarak alçalan bir su sütunu oluşturur. Su aynı yerde hem yükselip hem de alçalamayacağı için yükselen sütunlar ile alçalan sütunların birbirilerinden ayrılmasıyla bir yapı ortaya çıkar.

Bir sistem içerisinden sürekli akan enerji, bu sistemin ısıl denge durumundan uzak olduğunu kanıtlayan karmaşık örüntülere ve yapılara neden olabilir. Bir başka örnek, rüzgârın kumullar üzerinde oluşturduğu dalgacıklardır. Karmaşıklık yelpazesinin diğer ucunda ise yaşam bulunur. Bu iki örnek de ikisi arasında kalan diğer birçok şey gibi, enerjinin bir sistem içerisinden kararlı bir şekilde akması sonucunda ortaya çıkar. Bu, başka şeylerin yanı sıra kendi kendine düzenlenmiş karmaşık sistemlerin asla yalıtılmış olmadığı anlamına da gelir.

Söz konusu enerji akışları büyük ölçüde Leibnizci sistemler üretir. Canlıların birbirine benzeyen birçok kopyası bulunmakla birlikte, her birini diğerlerinden ayırmak mümkündür. Karmaşıklık merdiveninde ne kadar yükseğe çıkarsanız, bireyler de birbirlerinden o kadar farklı olur.

Bu yolu izleyerek son derece güzel bilim yapılabilir. Ama söylemek istediğim şu: önceki bölümde de belirtildiği gibi, termodinamiğin ikinci yasası yalnızca dış ortam ile madde ve enerji alışverişini engelleyen bir kutu içerisinde yalıtılmış sistemler için geçerlidir. Canlı hiçbir sistem yalıtılmış değildir. Hepimiz madde ve enerji akımlarıyla nihayetinde Güneş'ten gelen enerjinin harekete geçirdiği akımlarla yaşıyoruz. Bir kutuya kapatılırsak (eninde sonunda gideceğimiz yeri gözünüzde canlandırın) ölürüz.

Dolayısıyla Aristoteles dünyevi âlemden geçen enerji akışının, bu âlemin denge durumuna ulaşmasını engellediğini söylerken haklıydı. Bu fikrin yeterince takdir edilmemesi nedeniyle bazı bilim insanları ve filozoflar, termodinamiğin ikinci yasası ile doğal seçilimin giderek daha düşük olasılıklı yapılar üretmesi gerçeği arasında bir çatışma olduğunu düşünmeye başladı. Böyle bir çatışma yoktur, çünkü entropinin artacağını söyleyen yasa, yalıtılmış bir sistem olmayan biyosfer için geçerli değildir. Aslına bakılırsa doğal seçilim, dış güdümlü sistemlerin kendi kendini düzenleme eğilimleri sonucunda kendiliğinden ortaya çıkabilecek bir kendini düzenleme mekanizmasıdır.

Hangi özelliklerin bir sistemi karmaşık hâle getirdiğini, kendi kendini düzenleyen sistemler bağlamında daha iyi anlayabili-

riz. Yüksek karmaşıklığa sahip sistemler dengede olamaz çünkü düzen rastlantısal değildir, bu yüzden yüksek entropi ve yüksek karmaşıklık bir arada bulunamaz. Bir sistemi karmaşık olarak betimlemek, o sistemin mutlaka düşük entropiye sahip olduğu anlamına gelmez. Bir çizgi boyunca sıralanmış birkaç atom düşük entropiye sahiptir ama hiç de karmaşık değildir. Julian Barbour ile birlikte ortaya attığımız daha iyi bir karmaşıklık tanımına çeşitlilik adını verdik: bir sisteme ait herhangi iki alt sistemi birbirinden ayırmak için o sistemlerle bütün arasındaki bağlantı ya da ilişki hakkında asgari miktarda bilgi vermek yeterliyse, o sistemin çeşitliliği yüksektir.[4] Bir şehir, yüksek çeşitliliğe sahiptir, çünkü çevrenize bakarak hangi kavşakta olduğunuzu kolaylıkla anlayabilirsiniz. Bu tür koşullar doğada, kendini düzenleme süreçleri sonucunda denge durumundan uzaklaşmış sistemlerde ortaya çıkar.

Bu tür kendini düzenleyen sistemlerin hepsinde görülen bir özellik, geri besleme mekanizmaları sayesinde kararlı bir hâle gelmeleridir. Her canlı, içinden geçen enerji ve malzeme akışını düzenleyen, yönlendiren ve kararlı hâle getiren geri besleme süreçlerinden oluşmuş karmaşık bir ağdır. Geri besleme pozitif olabilir, yani bir şeyin üretimini hızlandırır (hoparlöre çok yaklaşan bir mikrofonun cızırdaması gibi). Negatif geri besleme ise bir sinyali bastırır: tıpkı eviniz çok soğuduğunda klimayı açan çok ısındığında ise kapatan bir termostatta olduğu gibi.

Uzay ve zaman içerisindeki örüntüler, farklı geri besleme mekanizmalarının bir sistemin kontrolünü almak için rekabete girmesi sonucunda oluşur. Farklı ölçeklerde etki eden bir pozitif geri besleme mekanizması ile negatif geri besleme mekanizması rekabete girdiğinde, uzayda örüntüler ortaya çıkabilir. Alan Turing tarafından keşfedilen[5] bu temel biyolojik kendini düzenleme mekanizması, bir ceninde ileride vücudu oluşturacak parçaların yerini işaretleyen örüntüler yaratacak şekilde işler. Daha sonra mekanizma tekrar harekete geçerek, örneğin bir kedinin derisindeki ya da bir kelebeğin kanatlarındaki desenleri üretebilir.

Yıldızlar ve güneş sistemlerinden daha büyük ölçeklere baktığımızda ne görüyoruz? Yıldızlar, gökadalar şeklinde düzenlenmiştir, çünkü gökadalarda oluşmuşlardır. Gökadaların kendileri de termodinamik dengeden çok uzaktır. Gökadamız Samanyolu, tipik bir sarmal gökadadır. Yalnızca yıldızlara değil, onları oluşturan uçsuz bucaksız yıldızlararası gaz ve toz bulutlarına da ev sahipliği yapar. Gaz, dışarıdan gelerek yavaşça gökada diski üzerinde birikir; bu süreç, gökadalardaki değişimin motorlarından biridir. Toz ise yıldızlar tarafından üretilir ve yaşamlarının sonunda süpernovaya dönüşüp patladıklarında gökada diskine karışır. Gaz ve toz maddenin farklı hâllerinde bulunur; bir kısmı çok sıcaktır, bir kısmı ise çok soğuk bulutlar halinde yoğunlaşmıştır. Bir gökadadaki kendini düzenleme sürecinin motoru yıldız ışığı, yani yıldızlardan gelen enerji akışlarıdır. Zaman zaman büyük bir yıldız bir süpernova hâline gelerek patlar ve bu patlama da gökadaya bol miktarda enerji ve madde boşaltır. Ayrıca gökadalardan daha büyük ölçekte olan yapılar da görüyoruz; gökadalar aralarında büyük boşluklar bulunan kümeler ve tabakalar hâlinde düzenlenmişlerdir. Bilim insanları, karanlık maddenin bu örüntüleri oluşturduğuna ve etkileşimleri sayesinde bir arada tuttuğuna inanmaktadır.

Yani bugünkü evrenimizde, canlı hücrelerdeki moleküllerin düzenlenmesinden gökadaların kümeler hâlinde düzenlenmesine kadar çok çeşitli ölçeklerde çeşitli karmaşık yapılar söz konusudur. Enerji akışlarının güdümlediği ve geri besleme süreçlerinin dengeleyip şekillendirdiği kendi kendini düzenleyen sistemlerden oluşan bir hiyerarşi vardır. Bizim evrenimiz, bir Boltzmann evreninden çok bir Leibniz evrenidir.

Peki, geçmişe baktığımızda gördüğümüz nedir? Daha az yapıdan daha çok yapıya, dengeden karmaşıklığa doğru evrimleşen bir evren görürüz.

Erken evrende madde ile ışımanın neredeyse ısıl dengede olduğuna inanmak için sağlam nedenlere sahibiz. Madde ve radyasyon sıcak bir durumdaydı; sıcaklık dikkat çekecek derecede her yerde aynıydı ve zamanda geriye gittikçe artıyordu. Ayrıl-

ma çağından (yani Büyük Patlama'dan 400 bin yıl sonra fotonların maddeden ayrılmasından) önce madde ile ışıma dengedeydi ve bildiğimiz kadarıyla bu dengeyi bozan tek şey de rastlantısal yoğunluk dalgalanmalarıydı. Bugün gördüğümüz tüm yapılar ve karmaşıklık, madde ile radyasyonun ayrılmasından sonra ortaya çıktı. Küçük rastlantısal yoğunluk dalgalanmaları ilk yapıların tohumlarını attı ve bu yapılar evren genişledikçe büyüdü. Önce gökadalar oluştu, sonra yıldızlar, sonra da yaşam.

Böyle bir resmi, termodinamiğin ikinci yasasını anlamadan uygulayarak kesinlikle elde edemezsiniz. İkinci yasa, yalıtılmış sistemlerde rastlantısallığın artacağını, bu sistemlerin zaman geçtikçe daha düzensiz, daha az karmaşık ve daha az yapısal bir hâle geleceğini söyler. Evrenimizin tarihindeyse bunun tam aksini görüyoruz; farklı ölçeklerde ortaya çıkan yapılarla beraber karmaşıklık artmakta ve en karmaşık yapılar da en yakın dönemde oluşmaktadır.

Karmaşıklığın evrimi için zaman gerekir. Karmaşık bir sistemin durağan olduğu hiç görülmemiştir. Almamız gereken büyük ders şudur: evrenimiz bir tarihe sahiptir ve bu tarih, karmaşıklığın zamanla artışını anlatır. Evren, bir Boltzmann evreni olmamakla kalmaz, zamanla Boltzmann evreninden giderek daha da fazla uzaklaşmaktadır.

Bu gerçek, termodinamiğin ikinci yasasını yürürlükten kaldırmaz. İkinci yasa yalıtılmış sistemler için geçerlidir ve söz konusu sistemler zamanla denge durumuna ulaşır. Üstelik artan entropi ile büyüyen karmaşıklık farklı yerlerde ortaya çıktığı sürece, aslında karmaşıklığın oluşumu entropinin artışı ile de uyumludur. Dünya'nın biyosferi gezegenimizde yaşamın ortaya çıkmasından bu yana, neredeyse 4 milyar yıldır kendi kendisini düzenlemektedir. Bu artan düzenlemenin motoru, bize Güneş'ten çoğunlukla görünür ışık fotonları şeklinde ulaşan ve bitkilerdeki fotosentez süreciyle yakalanan enerji akışıdır. Fotosentez, fotonların enerjilerini yakalayarak kimyasal bağlara dönüştürür. Bu biçimdeyken enerji örneğin, bir protein molekülü oluşturacak kimyasal tepkimeleri katalize edebilir. Enerji, sonunda bi-

yosferden geçer, ısıya dönüşür ve kızılötesi fotonlar olarak gökyüzüne ve ötesine yayılır. Daha sonra bu fotonlar, Güneş etrafındaki yörüngesinde dönen bir toz parçasını ısıtabilirler.

Tek bir enerji kuantumu, karmaşık bir molekülün oluşumunu katalize ederek biyosferdeki entropiyi azaltabilir ama kızılötesi ışık olarak uzaya yayıldığında bir bütün olarak güneş sisteminin entropisini artırır. Uzaydaki bir toz parçasının ısıtılmasından kaynaklanan entropi artışı, moleküler bir bağ oluşumundan kaynaklanan entropideki azalmadan fazla olduğu sürece, uzun dönemde sonuç termodinamiğin ikinci yasası ile uyumlu olacaktır.

Dolayısıyla güneş sistemini yalıtılmış bir sistem olarak düşünürsek, bazı kısımlarında kendini düzenleme süreçlerinin olması, sistemin entropisindeki genel bir artışa aykırı değildir. Sistem, bir bütün olarak dengeye ulaşmaya çalışmaktadır ve mümkün olduğunda entropisini artıracaktır. Termodinamiğin ikinci yasası, güneş sistemini denge durumuna getirmek için elinden geleni yapmaktadır ama soğuk uzaya sıcak fotonlar yayan büyük bir yıldız bulunduğu sürece, denge durumuna ulaşmayı ertelemek zorundadır. Erteleme süresince moleküller, enerji akışını kullanarak daha yüksek seviyede düzenleme ve karmaşıklık içeren durumlara ulaşabilir. Yıldızlar milyarlarca yıl boyunca yanar, bu nedenle karmaşıklığın artması için epeyce zaman vardır. Evren, oluşumundan 14 milyar yıl sonra hâlâ denge durumundan uzak olmasını yıldızların varlığına borçludur.



Ama yıldızlar neden var? Eğer evren entropi ve düzensizliğe doğru gitmek eğilimindeyse, evreni dengeden uzaklaştıran yıldızlar neden her yerde? Bu soruyu başka bir şekilde sormak gerekirse: Bir Leibniz evreninde yaşayabilmemiz için yıldızlara benzer bir şey olmak zorunda. Peki, yıldızların var olmasını sağlayan doğa yasalarının hangi özellikleri?

Yıldızların fiziği, doğa yasalarının iki olağandışı özelliğine dayanır. İlki, fiziği yöneten parametrelerdeki inanılmaz ince

ayardır. Bu ince ayarlar arasında temel parçacıkların kütleleri ve dört kuvvetin büyüklüğü de sayılabilir. Söz konusu özellikler nükleer füzyonu mümkün kılar, bu sayede yıldızları oluşturan hidrojen gazı, nükleer kuvvetlerin olmaması hâlindeki davranış şeklinden farklı bir davranış sergiler. Bir yıldızın merkezinde birbirine çarpan hidrojen atomları, gelişigüzel bir şekilde sağa sola savrulmak yerine yeni bir etkileşime girebilir. Birleşerek helyumu ve birkaç başka hafif elementi oluştururlar. Sanki bir hücrede, günbegün aynı sıkıcı denge durumunda hapsolmuşsunuz. Her saat bir öncekinin aynı. Sonra aniden, hiç yoktan bir kapı açılıyor ve yepyeni bir dünyaya yelken açıyormuşsunuz gibi. Termodinamik yasalarını sıradan atomlara uygulayarak nükleer füzyonu ve getirdiği olasılıkları öngörebilmek imkânsızdır.

İkinci olağandışı özellik, kütleçekimi kuvvetinin bir arada tuttuğu sistemlerin davranışlarından kaynaklanır. Çok basit bir dille ifade etmek gerekirse, kütleçekimi termodinamik hakkındaki saf fikirlerimizi yerle bir eder.

Termodinamiğin ikinci yasasının sonuçlarından biri, aynı zamanda her gün yaptığımız bir gözlemdir: ısı sıcak cisimlerden soğuk cisimlere doğru hareket eder. Buz erir. Ocaktaki su kaynar. İki cismin sıcaklığı eşitlendiğinde ısı akışı durur; cisimler denge durumuna ulaşmıştır. Normalde, bir cisimden enerji aldığımızda cismin sıcaklığı azalır ve cisme enerji verdiğimizde cisim ısınır. Yani ısı sıcak bir cisimden soğuk bir cisme doğru aktığında ikinci cisim ısınırken ilki soğur. Bu süreç, ikisi aynı sıcaklığa erişinceye kadar devam eder. Bir odadaki havanın tek bir sıcaklığa sahip olmasının nedeni budur. Eğer sıcaklık aynı olmasaydı, iki taraf ortak bir sıcaklığa ulaşana kadar enerji sıcak taraftan soğuk tarafa akardı.

Bu davranış, denge durumundaki sistemlerin küçük dalgalanmalardan etkilenmemesini sağlar. Küçük bir dalgalanma sonucunda odanın bir tarafının diğer tarafına göre daha sıcak bir hâl aldığını varsayalım. Enerji sıcak taraftan soğuk tarafa doğru akacak, sıcak taraf soğurken soğuk taraf ısınacak, böylece

kısa sürede sıcaklığın tekrar her yerde aynı olması sağlanacaktır. Çoğu sistem böyle sağduyuya uygun bir şekilde işler. Ama hepsi değil.

Yukarıdakinin tam aksi biçimde davranan bir gaz olduğunu hayal edin; enerji eklediğinizde soğuyup enerjisini azalttığınızda ısınsın. Böyle bir şey sağduyuya aykırı görünebilir ama bu tür gazlar vardır. Bunlar kararsız olmak zorundadır. Eşit sıcaklıkta bu tip bir gazla dolu bir oda düşünün. Küçük bir dalgalanma sol taraftan biraz enerji alıp sağ tarafa versin. Sol taraf ısınırken sağ taraf soğur. Bu, sıcak olan sol taraftan soğuk olan sağ tarafa biraz daha enerji akmasına yol açacaktır. Enerji akarken sol taraf soğumaz; aksine daha da ısınır. Soğuk olan sağ tarafa doğru enerji akışı arttıkça bu taraf daha da soğur. Kısa sürede odanın iki tarafı arasındaki sıcaklık farkının sürekli arttığı, kontrol dışı bir kararsızlıkla karşı karşıya kalırsınız.

Şimdi sadece sıcak tarafı göz önüne alıp senaryoyu tekrar edelim. Başka bir dalgalanmanın sıcak tarafın merkezini biraz soğuttuğunu varsayalım. Aynı süreç pozitif bir geri besleme olarak işler ve merkezi daha da soğuturken etrafındaki bölgeyi daha da ısıtır. Zamanla o küçük dalgalanma bir özellik haline gelir. Bu, tekrar tekrar meydana gelebilir. Kısa süre sonra soğuk ve sıcak bölgelerden oluşan karmaşık bir örüntü elde edersiniz.

Bu şekilde işleyen bir sistem, doğal olarak kendi kendine karmaşık örüntüler oluşturur. Böyle bir sistemin sonuçta alacağı şekli tahmin etmek zordur, çünkü sistem birçok heterojen, yani her yerde aynı olmayan, örüntülü konfigürasyonlardan birine ulaşacak şekilde evrim geçirebilir. Bunlara *anti-termodinamik sistemler* diyoruz. Termodinamiğin ikinci yasası böyle sistemler için de işler ama bir bölgenin enerjisini arttırmak o bölgeyi soğuttuğundan, gazın her yerde aynı olacak biçimde dağıldığı durum son derece kararsızdır.

Kütleçekiminin bir arada tuttuğu sistemler böyle garip bir şekilde davranır. Tüm yıldızlar, güneş sistemleri, gökadalar ve kara delikler anti-termodinamiktir. Hepsi enerji eklediğinizde soğur. Bu, tüm bu sistemlerin kararsız olduğu anlamına gelir. Ka-

rarsızlıklar, onları her yerde aynı olmaktan uzaklaştırarak uzay ve zamanda örüntü oluşturmaya yöneltir.

Oluşumundan 13,7 milyar yıl sonra evrenin hâlâ dengede olmaması, bu süreçle yakından ilişkilidir. Evrenin tarihini niteleyen yapılanma ve karmaşıklıktaki artış, büyük ölçüde, gökada kümelerinden yıldızlara kadar evreni dolduran kütleçekimiyle bağlı tüm sistemlerin anti-termodinamik özellik göstermesinden kaynaklanır.

Bu tür sistemlerin neden anti-termodinamik olduğu kolayca anlaşılabilir. Kütleçekimini diğer kuvvetlerden ayıran iki temel özellik bulunur: Kütleçekim kuvveti (1) uzun menzillidir ve (2) evrensel olarak çekicidir. Bir yıldız etrafında yörüngede bulunan bir gezegeni ele alalım. Enerji eklediğinizde, gezegen yıldızdan daha uzak bir yörüngeye geçerek daha yavaş hareket etmeye başlar. Yani enerji eklemek gezegenin hızını düşürür. Bu da sistemin sıcaklığını azaltır, çünkü sıcaklık sistemdeki nesnelerin ortalama hızından ibarettir. Tam tersine, eğer güneş sisteminden enerji çıkartırsanız, gezegenin tepkisi yıldıza yaklaşarak daha hızlı hareket etmek olacaktır. Dolayısıyla enerjiyi azaltmak sistemi ısıtır.

Bu örneği, elektrik yükleri arasındaki kuvvetlerin bir arada tuttuğu bir atomun davranışı ile karşılaştırabiliriz. Kütleçekimi gibi elektrik kuvveti de uzun mesafelerde etkilidir; farkı, yalnızca karşıt yükler arasında çekici olmasıdır. Pozitif yüklü bir proton, negatif yüklü bir elektronu çeker ama elektron protona bağlandıktan sonra ortaya çıkan atomun net bir yükü yoktur. Kuvvettin doyuma ulaştığı kabul edilir ve atom kendisine başka bir parçacık çekmez. Bir güneş sistemi ise tam aksi biçimde çalışır, çünkü bir yıldızın birkaç gezegeni kendisine çekmesiyle ortaya çıkan sistemin yakından geçen cisimlere uyguladığı çekim kuvveti, yıldızın tek başına uygulayacağı çekim kuvvetine kıyasla daha fazladır. İşte bir başka kararsızlık durumu daha: kütleçekimi ile birbirine bağlı bir sistem, daha çok cismi kendisine çekecektir.

Bu anti-termodinamik davranış, yıldız kümelerinin bozulmasında kendisini gösterir. Bir yıldız kümesi termodinamik bir şe-

kilde davranıyor olsaydı denge durumuna ulaşırdı. Bu örnekte denge durumu, kümedeki tüm yıldızların aynı ortalama hıza sahip olduğu ve sonsuza dek kümelenmiş olarak kaldığı durumdur. Ama bunun yerine yıldız kümeleri yavaş yavaş dağılır. Dağılma, ilgi çekici bir şekilde geçekleşir. Ara sıra bir yıldız, bir çift yıldızın, yani birbiri etrafında yörüngede olan iki yıldızın yakınından geçer. Yakından geçiş, çift yıldızın yörüngesinin daralmasına neden olabilir. Yörüngedeki küçülme sonucunda enerji açığa çıkar, bu enerji de üçüncü yıldıza aktarılır. Artık üçüncü yıldız kümeden kaçacak enerjiye sahiptir ve uzayın derinliklerine doğru bir yolculuğa başlar. Uzun bir süre sonra yıldız kümesinden geriye yalnızca yakın yörüngedeki birkaç çift yıldız ile kümeden hızla uzaklaşan bir yıldız bulutu kalır.

Bu süreç termodinamiğin ikinci yasasına değil, bu yasanın hatalı yorumuna aykırıdır. Entropinin normalde artacağını söyleyen yasa, aslında sadece bir şey ne kadar farklı biçimlerde gerçekleşebiliyorsa o şeyin gerçekleşme ihtimalinin de o kadar yüksek olduğunu söyleyen bilindik önermeyi dile getirir. Normal termodinamik sistemler tek, sıkıcı ve her yerde aynı olan, yani homojen bir denge durumunda, kütleçekimiyle birbirine bağlı anti-termodinamik sistemler ise son derece heterojen, yani her yerde aynı olmayan çok sayıda durumdan birinde son bulur.

Dolayısıyla evrenimizin ilgi çekici bir yer olmasının üç ayaklı bir açıklaması vardır: *Güdümlü kendini düzenleme ilkesi*, moleküllerden gökadalara kadar sayısız alt sistem ve ölçekte işleyerek bunların gittikçe daha karmaşık durumlara doğru evrim geçirmesini sağlar. Bu sürecin motoru, yalnızca *temel yasalardaki ince ayar ve kütleçekiminin anti-termodinamik doğası* sayesinde var olabilen yıldızlardır. Ne var ki bu kuvvetler, ancak evrenin başlangıç koşullarının zaman açısından önemli ölçüde asimetrik olması hâlinde yıldızlar ve gökadalarla dolu bir evren üretebilir.

Tüm bu anlatılanları Newton paradigması bağlamında çerçeveye oturtmak ve bir ölçüde kavramak mümkündür. Ama o paradigma içerisinde düşünmeye devam edersek, doğadaki düzen son derece düşük olasılıklara, yani yasa ve başlangıç koşu-

lu seçimlerinin son derece özel olmasına dayanıyor gibi görünür. Vardığımız üzücü sonuç şu olmalı: Newton paradigmasının zaman dışı bakış açısından bakıldığında doğal görünen tek evren, denge durumundaki ölü bir evrendir; böyle bir evrende yaşamadığımız açık. Ama zamanın gerçekliği penceresinden bakıldığında, evrenin ve onun temel yasalarının zaman içerisinde asimetrik olması ve zamanın yalıtılmış sistemlerdeki entropi artışlarını ve yapısallık ile karmaşıklıktaki sürekli büyümeyi kapsayan bir okunun bulunması son derece doğaldır.

Sonsuz Uzay mı, Sonsuz Zaman mı?

Zamanın gerçekliğini benimseyerek evrenin neden karmaşık yapılarla dolu olduğunu anlayabileceğimizi gördük. Ama evren daha ne kadar böyle kalabilir? Denge durumu sonsuza dek ertelenebilir mi? Belki de dengedeki çok daha büyük bir evren içerisinde yer alan bir karmaşıklık kabarcığında yaşıyoruzdur.

Bu soru, bizi çağdaş kozmolojideki en kurgusal konulardan birine getirir: çok uzaktaki yerler ve çok ilerideki gelecek.

Sonsuzluktan daha romantik bir fikir yoktur, ancak bilimde bu kavram kolaylıkla kafa karışıklığına yol açabilir. Evrende uzayın sonsuz olduğunu düşünün. Ayrıca her yerde aynı yasaların geçerli olduğunu ama başlangıç koşullarının gelişigüzel belirlendiğini farz edin. Bu, en mükemmel Boltzmann evreninin resmidir. Sonsuz evrenin neredeyse tamamı termodinamik dengededir; meydana gelen tüm ilgi çekici şeyler bir dalgalanmanın sonucudur. Ama bu evrende, bir dalgalanma sonucunda gerçekleşmesi mümkün olan her şey bir yerlerde gerçekleşir ve eğer sonsuz sayıda "bir yer" varsa her dalgalanma, ne kadar düşük olasılığa sahip olursa olsun, evrende sonsuz kere meydana gelir.[1]

Yani gözlenebilir evrenimiz, büyük bir istatistiksel dalgalanmadan ibaret olabilir. Eğer evren gerçekten sonsuzsa yaklaşık 93 mil-

yar ışık yılı çapında bir bölge olan gözlenebilir evrenimiz, uzayın sonsuzluğunda sonsuz kez yinelenecektir. Dolayısıyla eğer sonsuz bir Boltzmann evrenindeysek, tıpkı bizim gibi var olan ve tıpkı bizim gibi davranan sonsuz sayıda kopyaya sahibiz demektir.

Bu, Leibniz'in evrende birbirinin tamamen aynı iki yer olamayacağını söyleyen ilkesini açıkça ihlâl etmektedir.

Ama sorun sadece bundan ibaret değildir. Bugünün herhangi bir şekilde farklı olduğunu hayal edin. Ben, doğmamış olabilirdim. Ya da siz ilk erkek arkadaşınızla evlenmiş olabilirdiniz. Biri, bir yıl önce sarhoş olmuş, arkadaşlarının tavsiyesini dinlememiş, arabayla eve giderken yolda bir çocuğa çarparak öldürmüş olabilirdi. Kuzeniniz hastanede yanlış aileye verilmiş, büyürken istismar edilmiş ve bir seri katil olmuş olabilirdi. Zeki dinozorlar evrimleşmiş, iklim değişimi sorununu çözmüş ve Dünya'ya hâlâ hükmediyor olabilirlerdi; memeliler de hiçbir zaman hâkimiyet kuramamış olurdu. Tüm bunlar gerçekleşebilecek ve dolayısıyla bizi şu anki evrene ilişkin farklı bir konfigürasyona götürebilecek şeylerdir. Bunlara benzer şu anki çeşitli konfigürasyonların her biri, yakınımızdaki atomların olası bir düzenlenme biçimini ifade eder. Dolayısıyla her biri, uzayın sonsuzluğunda sonsuz kez meydana gelir.

Bence bu dehşet verici bir ihtimal. Bir kere ahlâki sorunlara neden olur: sonsuz uzayın diğer bölgelerinde yaşayan diğer kopyalarım mümkün olan her seçimi yapıyorsa, kendi yaptığım seçimlerin sonuçları neden umurumda olsun ki? Bu Dünya'da çocuğuma özenle bakmayı tercih edebilirim ama diğer kopyalarımın kötü kararları nedeniyle sıkıntı çeken diğer dünyalardaki çocuklarımı da düşünmem gerekmez mi?

Bu ahlâki sorunların yanı sıra bilimin faydasına ilişkin sorunlar da ortaya çıkar. Eğer doğadaki asıl gerçek, gerçekleşmesi mümkün olan her şeyin gerçekleştiği ise açıklama sahası son derece daralmış demektir. Leibniz'in yeterli neden ilkesi, eğer evren başka bir biçimde olabilecekken öyle değil de gözlemlediğimiz gibi ise bunun makul bir nedeni olmalıdır der. Ama eğer evren tüm olası biçimlerde ise açıklanacak bir şey kalmaz. Bilim,

yerel şartları kavramamızı sağlayabilir ama sonuçta boş bir uğraştır, çünkü gerçek yasa, gerçekleşebilecek her şeyin şu anda, sonsuz defa gerçekleşmekte olduğunu söyler. Bu, kozmolojiye genişletilen Newton paradigmasının *gülünç bir öngörüsü* olup kozmolojik yanılgının bir başka örneğidir. Ona, *sonsuz Boltzmann trajedisi* adını verdim.

Trajedi olduğunu söylememin sebeplerinden biri fiziğin öngörü gücünü oldukça azaltmasıdır, çünkü artık olasılıklar düşündüğünüz anlama gelmez. Farz edelim ki kuantum mekaniğinin A sonucu için yüzde 99, B sonucu için de yüzde bir olasılık öngördüğü bir deney yapıyorsunuz. Deneyi bin defa yaptınız diyelim. Bu durumda deneylerden kabaca 990 tanesinde A sonucu almayı beklersiniz. A üzerine bahse girmekten çekinmezsiniz çünkü makulen her B sonucu için yaklaşık 99 A sonucu almayı bekleyebilirsiniz. Kuantum kuramının öngörülerini doğrulama şansınız yüksektir. Ama sonsuz bir evrende, aynı deneyi yapan sonsuz sayıda kopyanız bulunur. Bu kopyalar arasından sonsuz tanesi A sonucunu gözlemler. Ama bir de B sonucunu gözlemleyen sonsuz sayıda kopyanız vardır. Bu yüzden, kuantum mekaniğinin bir sonuçla diğerinden 99 kez daha sık karşılaşacağınız yönündeki öngörüsü sonsuz bir evrende doğrulanabilir değildir.

Bahsettiğim sorun, kuantum kozmolojisinde ölçüm problemi olarak bilinir. Konu hakkında çalışan zeki insanların çalışmalarını okuyup konuşmalarını dinledikten sonra vardığım görüş, sorunun bir çözümü olmadığı yönünde. Ben, kuantum mekaniğinin kazandığı başarıyı, yalnızca tek bir kopyamı içeren sonlu bir evrende yaşadığımızın kanıtı olarak görmeyi tercih ediyorum.

Uzayın sonsuz olduğunu reddederek sonsuz evren trajedisinin sonuçlarından kaçınabiliriz. Elbette belirli bir uzaklıktan ötesini göremiyoruz ama evrende uzayın sonlu olduğu hipotezini kabul etmek bana makul ve mantıklı geliyor: Einstein da uzayın sonlu ama sınırsız olduğunu önermiştir. Bu, uzayın genel topolojisinin bir küre ya da bir simit (yani bir torus) gibi kapalı bir yüzey oluşturduğu anlamına gelir.

Söz konusu öneri gözlemlerimize aykırı değildir. Doğru topolojinin hangisi olduğu, uzayın ortalama eğriliğine bağlıdır. Eğer eğrilik, bir kürede olduğu gibi pozitif ise o zaman yalnızca bir olasılık vardır: kürenin iki boyutlu topolojisinin üç boyuttaki eşdeğeri. Eğer uzayın ortalama eğriliği bir düzlemdeki gibi düz ise sonlu bir evren için yine tek seçenek bulunmaktadır: bir simidin iki boyutlu topolojisinin üç boyuttaki eşdeğeri. Eğer eğrilik bir semerde olduğu gibi negatif ise uzayın topolojisine ilişkin sonsuz sayıda olasılık ortaya çıkar. Bunlar burada betimlenemeyecek kadar karmaşıktır ve kataloglarını çıkarmak matematiğin 20. yüzyılın sonunda kazandığı büyük zaferlerden biri olmuştur.

Einstein'ın önerisi, doğrulanabilir bir hipotezdir. Eğer evren kapalıysa ve yeterince küçükse ışığın tüm çevresini dolaşabilmesi ve bizim de uzaktaki gökadaları birden çok imge hâlinde görmemiz gerekir. Böyle imgeler aranmış ancak şu ana kadar bulunamamıştır.

Ne var ki uzaysal açıdan kapalı bir uzay-zaman ile modellenen kozmolojik kuramları tercih etmek için güçlü bir neden vardır. Eğer evren, uzaysal açıdan kapalı değilse uzay sonsuz olmalıdır. İlk bakışta öyle görünmese de bu uzayın bir sınırı olduğu anlamına gelir. Bu sınır, sonsuz uzaklıktadır ama yine de bilginin girip çıkabileceği bir sınırdır.[2] Dolayısıyla uzayın sonsuz olduğu bir evren, dışa kapalı bir sistem olarak düşünülemez. Sınırdan içeri giren bilgileri de kapsayan daha büyük bir sistemin bir parçası olarak kabul edilmesi gereklidir.

Eğer sınır sonlu bir uzaklıkta olsaydı, dışında daha fazla uzay olduğunu hayal edebilirdik. Sınır hakkındaki bilgiler, sınırın ötesindeki âlemden evrene nelerin girdiğine bakılarak açıklanabilirdi.[3]

Ama sınırın sonsuz uzaklıkta olması, bu sınırın ötesinde bir âlem olduğunu hayal etmemize imkân vermez. Sınırdan içeri nelerin girdiğine ve dışarı nelerin çıktığına ilişkin bilgi vermemiz şarttır ama seçim tamamen keyfidir. Sonsuz sınırdan evrene giren bilgi hakkında daha fazla açıklama yapmak imkânsızdır: Bir seçim yapılmalıdır ve bu keyfi bir seçimdir. Bu nedenle, sonsuz bir sınıra sahip evren modellerinde hiçbir şeyin açıklanamayaca-

ğını kabul etmemiz gerekir. Açıklayıcı kapalılık ilkesi de yeterli neden ilkesi de ihlâl edilmiştir.

Bu savın burada açıklamayacağım bazı teknik incelikleri bulunmaktadır. Ama hayati öneme sahip bu sav, gördüğüm kadarıyla evrende uzayın sonsuz olduğuna ilişkin spekülasyonlar yapan kozmologlar tarafından göz ardı edilmektedir. Tüm evren modellerinin uzaysal açıdan kapalı ve sınırsız olması gerektiği sonucunu kaçınılmaz görüyorum.

Dolayısıyla sonsuz uzaklıkta bir şey yok ve sonsuz uzaylarla uğraşmamız gerekli değil. Şimdi dikkatimizi sonsuz uzaklıktan sonsuz geleceğe çevirelim.



Kozmoloji literatürü, geleceğe ilişkin kaygılarla doludur. Evrenimiz, şimdilik bir Boltzmann evreninden çok bir Leibniz evreni gibi görünüyor olsa da acaba bu geçici bir durum olabilir mi? Belki de uzun dönemde evren de hepimiz gibi ölecek.

Kendimizi uzayın sonlu olduğu evrenlerle kısıtlamak, sonsuz bir Boltzmann evreninin yarattığı birçok trajediden ve çelişkiden kurtulmamızı sağlar. Ancak hepsinden değil. Sonlu uzaya sahip ve kapalı evren yine de sonsuza kadar yaşayabilir ve eğer asla büzülmezse sonsuza kadar genişleyecektir. Öyleyse evrenin ısıl dengeye ulaşmak için sonsuza dek zamanı olacak demektir. Eğer ulaşırsa bu süreç ne kadar sürmüş olursa olsun, geriye dalgalanmaların olasılık dışı yapılar oluşturması için sonsuz bir zaman ve sürekli genişleyen bir uzay kalacaktır. Sonuç olarak, bu durumda da gerçekleşmesi mümkün olan her şeyin eninde sonunda sonsuz defa gerçekleşeceğini söyleyebiliriz. Tekrar Boltzmann beyni paradoksuna geri dönmüş olduk. Eğer yeterli neden ve ayırt edilemeyenlerin özdeşliği ilkeleri sağlanacaksa evren, bir şekilde böyle bir paradokstan kaçınabilmelidir. Söz konusu ilkeler, evrenimizin olası kaderine ilişkin seçenekleri kısıtlar.

Evrenin uzak geleceğinde neler olacağını saptamaya yönelik az sayıda bilimsel kaynak vardır. Bu kaynakların tamamı kur-

gusaldır, çünkü evrenin uzak geleceği hakkında akıl yürütebilmek için bazı büyük varsayımlarda bulunmanız gerekir. Bunlardan biri, doğa yasalarının asla değişmemesi gerektiğidir, zira eğer değişiyorlarsa öngörü yeteneğimizden yararlanamayız. Evren tarihinin akışını değiştirebilecek henüz keşfedilmemiş bir olgu da bulunmamalıdır. Örneğin, henüz saptayamadığımız kadar zayıf olan ama geniş mesafelerde ve evrenin şu anki yaşından çok daha uzun sürelerde etki eden bir kuvvet mevcut olabilir. Böyle bir şey mümkündür ve bilim insanları tarafından dikkate alınmıştır. Ancak bu tür bir şey mevcut bilgilerimize dayanarak herhangi bir öngörüde bulunmamızı engeller. Ayrıca şu anki ufkumuzun ötesinden ışık hızında bize yaklaşmakta olan kozmik kabarcık duvarları gibi bizi bekleyen başka sürprizler de olmamalıdır.

Evrenin iyi belirlenmiş yasalardan ve olgulardan ibaret olduğunu varsaydığımızda, aşağıdaki güvenilebilir sonuçlara varabiliriz:

Gökadalar er geç yıldız üretmeyi durduracaktır. Gökadalar, hidrojeni yıldızlara dönüştüren dev sistemlerdir. Çok etkin değildirler; sıradan bir sarmal gökada, yılda yaklaşık bir yıldız üretir. Neredeyse 14 milyar yıl sonra evrenin büyük kısmı hâlâ başlangıçtan kalan hidrojen ve helyumdan oluşmaktadır. Yine de mevcut hidrojen miktarı bellidir, bu yüzden en azından oluşabilecek yıldız sayısının sınırlı olduğunu söyleyebiliriz. Hidrojenin tamamı er geç yıldızlara dönüştürülse bile, bu yıldızlardan biri evrenin ürettiği son yıldız olacaktır. Bu yalnızca bir üst sınırdır; yıldız oluşumunu tetikleyen denge-dışı süreçlerin, hidrojenin tamamının yıldızlara dönüştürülmesinden çok önce ortadan kaybolması daha büyük bir olasılıktır.

Son yıldızlar sönecektir. Yıldızların sınırlı bir ömrü vardır. Büyük kütleli yıldızlar birkaç milyon yıl yaşar ve süpernova hâlinde dramatik bir şekilde can verir. Çoğu yıldız ise milyarlarca yıl yaşayarak beyaz cüceler hâlinde yavaşça söner. Son yıldız da eninde sonunda ölecektir.

Peki, ya sonra?

Son yıldızlar da öldükten sonra evrende geriye madde, karanlık madde, ışıma ve karanlık enerji kalacaktır. Uzun dönem-

de evrene ne olacağı, büyük oranda hakkında en az bilgiye sahip olduğumuz bir bileşene bağlıdır: karanlık enerji.

Karanlık enerji, boş uzayla ilişkili enerjidir. Evrenin kütle-enerji içeriğinin yaklaşık yüzde 73'ünü oluşturduğu gözlemlenmiştir. Doğası henüz bilinmemektedir ama uzak gökadaların hareketleri üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Karanlık enerjiye, özellikle yakın dönemde keşfedilen evrenin genişlemesindeki hızlanmayı açıklamakta başvurulmaktadır.

Bunun dışında hakkında hiçbir şey bilmiyoruz. Kozmolojik bir sabitten ibaret olabileceği gibi, sabit bir yoğunluğa sahip egzotik bir tür enerji de olabilir. Karanlık enerji yoğunluğu kabaca sabit gibi görünüyor olsa da gerçekten sabit mi yoksa yalnızca şimdiye kadar yapılan gözlemlerin saptayamadığı kadar yavaş mı değişiyor bilmiyoruz. Evrenin geleceği, karanlık enerji yoğunluğunun sabit olup olmadığına bağlı olarak son derece farklı biçimlerde gerçekleşecektir.

Önce evren genişlerken karanlık enerji yoğunluğunun değişmediği senaryoyu inceleyelim. Eğer yoğunluğu sabitse, aynı Einstein'ın kozmolojik sabiti gibi davranır. Evren genişlemeye devam ederken karanlık enerjinin yoğunluğu azalmaz. Geri kalan her şey (maddenin ve radyasyonun tamamı) evren genişledikçe seyrelir ve bu kaynakların toplam enerji yoğunluğu istikrarlı bir şekilde azalır. Birkaç on milyar yıl sonra kozmolojik sabitten kaynaklanan enerji yoğunluğu dışındaki her şey ihmal edilebilir bir seviyeye düşer.

Bu son derece basit bir örnek olduğundan, daha sonra ne olacağı hakkında iyi bir fikrimiz var. Katlanarak artan hızlanmanın sonucunda gökada kümeleri birbirlerinden o kadar hızla uzaklaşır ki kısa sürede birbirlerini gözlemleyemeyecekleri kadar birbirlerinden uzaklaşmış olurlar. Bir kümeden ayrılan ve ışık hızında seyahat eden fotonlar, diğer kümeleri yakalayacak kadar hızlı değildir. Her kümedeki gözlemcilerin çevresinde bir ufuk oluşur ve komşu kümeler bu ufkun ardında gözden kaybolur. Böylece her küme yalıtılmış bir sisteme dönüşür. Dolayısıyla her ufkun içindeki bölge, bir alt sistemi evrenin geri kalanından ayıran bir tür

kutu hâline gelir. Yani kutuda fizik yöntemleri her küme için geçerlidir. Bu da bölgeler hakkında akıl yürütürken termodinamikteki yöntemlerden yararlanabileceğimiz anlamına gelir.

Hikâyenin bu noktasında, kuantum mekaniğinin yeni bir etkisi sahne alarak, her ufkun içinin ısıl dengede fotonlardan oluşan bir gazla (Hawking kara delik ışımasını oluşturan süreçlere benzer süreçler sonucunda yaratılan bir tür sisle) dolmasına neden olur. Buna, *ufuk radyasyonu* denir. Sıcaklığı da yoğunluğu da son derece düşüktür ama evren genişledikçe bu değerler sabit kalır. Bu arada, madde ve KMF de dâhil olmak üzere geri kalan her şey giderek daha da seyrelmektedir. Dolayısıyla yeterince zaman geçtiğinde evreni dolduran tek şey bu ufuk radyasyonundan ibaret kalır. Evren, dengeye ulaşmıştır.

Bu denge durumu sonsuza kadar sürer. Evrenin bu şekilde ebedi bir Boltzmann evreni hâlinde sona ermesi kaçınılmazdır. Elbette dalgalanmalar ve yinelenmeler olacaktır ve arada bir evrenin şu ya da bu konfigürasyonu tam olarak tekrarlanacaktır. Bu konfigürasyonlara, 16. Bölüm'de Newton paradigmasının son *gülünç öngörüsü* olarak betimlediğim Boltzmann beyni paradoksunun konfigürasyonları da dâhildir. Bu senaryo uyarınca, evrenimizin şu anda sahip olduğu görünür karmaşıklığı, evren ebedi denge durumuna geçmeden önceki kısacık bir parlamadan ibarettir.

Boltzmann beyni olmadığımızdan neredeyse kesinlikle eminiz, çünkü (16. Bölüm'de de belirtildiği gibi) eğer öyle olsaydık muhtemelen çevremizde engin ve düzenli bir evren görüyor olmazdık. Boltzmann beyinleri *olmadığımız* gerçeği, evrenin geleceğine ilişkin bu senaryonun yanlış olduğunu gösterir. Yeterli neden ilkesi de ayırt edilemeyenlerin özdeşliği ilkesini sözcüsü olarak kullanarak bu senaryonun yanlış olması gerektiğini söyler. Sorulması gereken soru şudur: Bundan nasıl kaçınabiliriz?

Ebedi ölü evrenden kaçınmanın en basit yolu, evrenin kendi genişlemesini durdurup çökmesini sağlamaya yetecek kadar madde içermesidir. Kütleçekimi sayesinde madde maddeyi çeker, bu da genişlemeyi yavaşlatır. Eğer yeterince madde mevcutsa evren çöküp en sonunda bir tekillik oluşturacaktır. Ya da bel-

ki kuantum etkileri çöküşü durdurarak evrenin "sekmesine" neden olacak, büzülmeyi genişlemeye çevirip yeni bir evrenin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Ama görüldüğü kadarıyla evrende genişleme sürecini tersine çevirmek bir yana karanlık enerjinin genişlemeyi hızlandırma eğilimini dizginlemek için bile yeterli madde yoktur.

Ebediyen ölü bir gelecekten kaçınmanın bir sonraki en basit yolu, kozmolojik sabitin aslında sabit olmamasıdır. Elimizdeki kanıtlar, esasen kozmolojik sabiti oluşturan karanlık enerjinin, evrenin şu anki yaşı ölçeğinde değişmediğini göstermektedir, ancak daha uzun vadede değişmeyeceğine dair bir kanıtımız yok. Böyle bir değişim daha derin bir yasadan, etkileri ancak uzun zaman ölçeklerinde belirgin hâle gelecek kadar yavaş işleyen bir yasadan kaynaklanabilir. Ya da değişim, yasaların evrimleşme eğilimlerinin bir sonucu olabilir. Aslında karşılıksız eylemin yokluğu ilkesi, evreni böylesine belirgin bir şekilde etkileyen kozmolojik sabitin de evrenden etkilenmesi gerektiğine işaret eder.

Kozmolojik sabit bozunarak sıfırlanabilir. Eğer böyle olursa genişleme yavaşlar ama muhtemelen tersine dönmez. Evren ebedi ama durağan olabilir; bu durum, en azından Boltzmann beyni paradoksunu ortadan kaldırır.

Kozmolojik sabitin olmadığı evren, sonsuza kadar genişler mi yoksa çöker mi sorusunun yanıtı, temelde başlangıç koşullarına bağlıdır. Eğer sonuçta genişleme enerjisi evrendeki her şeyin karşılıklı kütleçekimini yenebilecek yeterlilikteyse, evren asla çökmeyecektir. Ama evren ebedi bile olsa, yeniden doğuş için yeterince fırsat vardır. Çünkü her kara delik, sahip olduğu tekilliğin ortadan kalkması sonucunda, bir bebek evrene yol açabilir. 11. Bölüm'de de belirtildiği gibi, böyle olması gerektiğini gösteren güzel kuramsal deliller bulunmaktadır.

Eğer durum buysa, halen ölümün çok uzağında olan evrenimizin şimdiden bir milyar kere milyar yavrusu vardır. Bu yeni evrenlerin her birinin de kendi yavruları olacaktır. Dolayısıyla bunca yavru doğurduktan sonra her evrenin bir gün ölecek olması pek de önemli görünmemektedir.

Ayrıca yalnızca kara delikler yerine tüm evreni kapsayan yeniden doğuş imkânları da mevcuttur. Bu hipotez, devirli modeller adı verilen bir dizi kozmolojik model kapsamında araştırılmaktadır. Princeton Üniversitesi'nden Paul Steinhardt ile Perimeter Enstitüsü'nden Neil Turok tarafından ortaya atılan bir tür devirli model, bunu kozmolojik sabitin önce sıfıra düştüğünü sonra da negatif değerlere doğru hızla azalmaya devam ettiğini varsayarak gerçekleştirir.[4] Burada açıklamayacağım nedenlerden ötürü, söz konusu süreç tüm evrenin dramatik bir şekilde çökmesine neden olur. Ancak adı geçen bilim insanları, çöküşün ardından evrenin sekip yeniden genişlemeye başladığını öne sürmektedir. Bu sekme, kuantum kütleçekimi etkilerinden kaynaklanabilir ya da karanlık enerjinin aşırı yüksek değeri sayesinde nihai tekillikten kaçınmak mümkün olabilir.

Kozmolojik nihai tekilliklerin, kuantum etkileri nedeniyle sekerek evrenin yeniden genişlemesine neden olduğu düşüncesini destekleyen kuramsal kanıtlar, kara delik tekilliklerine dair kanıtlardan bile güçlüdür.[5] Halka kuantum kütleçekimi kapsamında, kozmolojik tekilliklerin yakınlarındaki kuantum etkileri hakkında birçok model incelenmiş ve sekmenin evrensel bir olgu olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bunların yalnızca birer modelden ibaret olduğuna ve şimdilik ciddi varsayımlara dayandıklarına dikkat çekilmelidir. Kilit varsayımları, evrende uzayın homojen olduğudur.

En emin olduğumuz nokta şu: evrenlerin yüksek oranda homojen olan bölgeleri (yani kütleçekimsel dalgalar veya kara delikler barındırmayan bölgeleri) sekerek yeni evrenler oluşturur.

En kötü ihtimalle, homojenlikten uzak bölgeler sekmez. Bunlar, çöküp içinde zamanın durduğu birer tekillik oluşturur. Yine de bu kötü örneğin bile iyi bir yönü vardır, zira evrende hangi bölgelerin sekip kendilerini yeniden üreteceğini belirlemeye yönelik bir seçim ilkesi sağlar. Yalnızca daha homojen bölgeler sekiyorsa yeni evrenlerin sekmeden hemen sonraki başlangıçları da son derece homojen olur.[6] Bu tespit şöyle bir öngörüde bulunur: Sekmenin hemen ardından gelen çok erken dönemlerde,

evren son derece homojendir: ne kara delikler ya da beyaz delikler ne de kütleçekimi dalgaları bulunur, tıpkı kendi evrenimizde gözlemlediğimiz gibi.

Ama seken evren senaryosunun bilimsel olabilmesi için kendisinin test edilebilmesini sağlayacak en az bir öngörüsü daha olmalıdır. Böyle en az iki öngörü vardır, ikisi de KMF'de görülen dalgalanma tayfı ile alâkalıdır. Devirli senaryo, bu dalgalanmalar için sıklıkla dalgalanmaların nedeni olarak kabul edilen kısa süreli aşırı şişmeye gerek duymayan bir açıklama getirir. Şimdiye kadar gördüğümüz dalgalanma tayfı türetilebilir, ancak devirli modellerin öngörüleri ile şişme modelinin öngörüleri arasında iki fark vardır ve bu öngörüler günümüzde ya da yakın dönemde yapılacak deneylerde test edilebilir. Testlerden biri, KMF'de kütleçekimsel dalgalar gözlenip gözlenemeyeceğine ilişkindir; şişme modeli bu soruyu evet, devirli modeller ise hayır diyerek yanıtlar. Devirli modeller, ayrıca KMF ışımasının tamamen rastlantısal olmadığını öngörür, yani teknik terimlerle ifade etmek gerekirse, KMF'nin Gauss dağılımına uymadığını söyler.

Devirli modeller zamanı temel kabul etmenin, yani Büyük Patlama ile başlamayıp daha önce de var olduğu fikrini benimsemenin nasıl öngörü gücü daha yüksek bir kozmolojiye yol açtığını gösteren örneklerdir. Bir başka örnek de ışık hızının çok erken evrende farklı (çok daha hızlı) olduğu hipotezine dayanan kuramlardır. *Değişken ışık hızı kuramları* olarak bilinen bu modeller, görelilik kuramının ilkelerini ihlâl edecek şekilde tercih edilen bir zaman kavramı seçerler. Bu nedenle de popüler değillerdir ama KMF'deki dalgalanmaları şişmeye gerek duymadan açıklama konusunda ümit vadetmektedirler.

Roger Penrose, evrenin yeni bir evren oluşturmasına neden olacak bir başka senaryo ortaya atmıştır.[7] Kabaca açıklamak gerekirse, Penrose değişmeyen bir kozmolojik sabite sahip ebedi Boltzmann evreni senaryosunu kabul eder ve sonsuz bir süre geçtikten sonra ne olacağını sorar. (Böyle bir soru ancak Penrose'un aklına gelirdi.) Bir yerden sonra protonlar, kuarklar ve elektronlar da dâhil olmak üzere kütle sahibi tüm parça-

cıkların bozunacağı ve geriye yalnızca fotonlar ile diğer kütlesiz parçacıkların kalacağı şeklinde fikir yürütür. Eğer böyle olursa zamanın sonsuz akışını hissedecek bir şey kalmayacaktır, çünkü fotonlar ışık hızında hareket ettiklerinden zamanı deneyimlemezler. Bir foton, çok geç evrenin sonsuzluğu ile çok erken evreni birbirinden ayıramaz. Tek fark, sıcaklık olacaktır. Sıcaklık farkının muazzam olacağı kabul edilmelidir ancak bu tek ölçektir. Penrose, tek bir ölçeğin önemli olmadığını öne sürer. İlişkisel bağlamda betimlenen bir foton gazında yalnızca o anda var olan şeyler arasındaki karşılaştırmalar ya da oranlar önem taşır; genel ölçeğin saptanması mümkün değildir. Dolayısıyla soğuk fotonlardan ve diğer kütlesiz parçacıklardan oluşan bir gaz ile dolu geç evren ile aynı parçacıklardan oluşan sıcak bir gaz ile dolu erken evreni birbirinden ayıramayız. Ayırt edilemeyenlerin özdeşliği ilkesine göre, evrenin geç dönemleri aynı zamanda başka bir evrenin de doğumudur.

Penrose'un bu senaryosu yalnızca sonsuz bir süre sonra ortaya çıktığından, Boltzmann beyni paradoksuna çözüm getirmez. Fakat Büyük Patlama'nın kalıntılarında bir önceki evrenin fosillerini bulacağımızı ve bu fosillerden yararlanarak o evren hakkında bilgi edinebileceğimizi öngörür. Evrenin ısıl denge durumunda geçirdiği sonsuzluk sırasında birçok bilgi kaybolmuştur ama düzenini asla yitirmeyen bir bilgi taşıyıcı vardır: kütleçekimsel ışıma. Kütleçekimi dalgaları tarafından taşınan bilgi, devirli modellerde de sekmeyi aşıp yeni evrene geçebilir.

Kütleçekimi dalgalarının taşıdığı en kuvvetli sinyaller, uzun süre önce yok olan gökadaların merkezindeki büyük kara delikler arasında gerçekleşen çarpışmalardır. Bu sinyaller, dışarı doğru yayılarak gökyüzünde büyük halkalar oluşturur. Sonsuza kadar ilerler, yeni evrene geçiş sırasında kaybolmazlar. Sonuç olarak, Penrose bu büyük halkaların, yapısı evrenimizin erken dönemlerinde belirlenen KMF'de görülebiliyor olması gerektiğini öngörür. Bunlar, önceki evrende meydana gelen olayların gölgeleridir.

Ayrıca Penrose birçok eş merkezli halka olması gerektiğini söyler. Bu halkalar, zaman içerisinde birden fazla gökadanın

merkezinde yer alan kara deliklerin çarpıştığı gökada kümelerinden gelir. Bu çoğu kozmolojik senaryonun KMF'ye ilişkin olarak öngördüğü örüntü biçimlerinden oldukça farklı, çarpıcı bir öngörüdür. Bu derece düşük olasılığa sahip bir şeyin doğrulanması, bunu öngören senaryonun lehinde bir kanıt oluşturacaktır.

Bu satırlar yazılırken, Penrose'un eş merkezli halkalarının KMF'de görülüp görülmediği konusu tartışmalıydı.[8] Sonuç ne olursa olsun, bir kez daha görüyoruz ki evrenimizin Büyük Patlama öncesinde var olan bir evrenden evrimleşerek ortaya çıktığını söyleyen kozmolojik senaryolar, gözlemlerle doğrulanabilecek ya da çürütülebilecek öngörülerde bulunmaktadır. Bu durum, evrenin eşzamanlı birçok evrenden biri olduğu söyleyen senaryolardan, yani gerçek bir öngörüde bulunmayan ve muhtemelen bulunması da mümkün olmayan senaryolardan farklıdır.

10. Bölüm'de, evrenimizde neden belirli yasaların ve başlangıç koşullarının geçerli olduğunu makul bir şekilde açıklayabilmek için seçimin birden fazla sefer yapılmasının şart olduğunu, aksi halde neden seçimin böyle yapıldığını bilemeyeceğimizi ileri sürmüştüm. Oysa eğer aynı başlangıç koşulları ve yasalar birçok kez ortaya çıkmışsa bunun nedenleri olabilirdi. Birden çok Büyük Patlama'nın nasıl gerçekleşebileceğine ilişkin iki seçeneği (eşzamanlı ya da peş peşe) dikkate almış ve yalnızca ikinci durum söz konusuysa *Neden bu yasalar?* sorusunu yanıtlayan ve aynı zamanda çürütülebilir öngörülerde bulunarak bilimselliğini koruyan bir kozmoloji geliştirebileceğimizi iddia etmiştim. Bu bölümde, aynı konuya dönerek iki alternatifi karşılaştırdım ve yalnızca peş peşe evrenler söz konusu olduğunda yapabileceğimiz deneylere ilişkin gerçek öngörüler ortaya koyabildiğimizi ayrıntılı bir şekilde görmüş olduk.

Böylece zamanı gerçek ve temel, evrenin tarihini de şu anki hâlini anlamanın zorunlu bir unsuru olarak kabul eden bir çerçeve içerisinde çalıştığımızda, kozmolojinin daha bilimsel ve fikirlerimizin de test edilmeye daha açık bir hâl aldığını anlıyoruz. Bilimin amacının zaman dışı matematiksel nesnelerin temsil ettiği zaman dışı doğruları keşfetmek olduğunu söyleyen metafi-

zik önkoşula saplanıp kalanlar, zamanı ortadan kaldırarak evreni matematiksel bir nesneye benzer bir hâle getirmenin bilimsel kozmolojiye giden yol olduğunu sanabilir. Ama aslında durum bunun tam tersi çıktı. Charles Sanders Peirce'ın yüz yıldan uzun bir süre önce fark etmiş olduğu gibi, *yasaların açıklanabilmeleri için evrim geçirmiş olmaları gerekir.*

Zamanın Geleceği

II. KISIM'DA ZAMAN DIŞILIK DÜŞÜNCESİNİ terk ederek zamanı doğa anlayışımızın merkezinde hak ettiği yere geri koyduk. I. Kısım'da sunulan zamanın gerçek olmadığına ilişkin savlar güçlü görünmekle birlikte, bunların tümü Newton paradigmasının bütün evreni kapsayan tam bir kurama genişletilmesine dayanmaktadır. Gördüğümüz gibi, bu paradigmanın evrenin küçük parçalarına ilişkin fiziği betimlemede başarılı olmasını sağlayan özellikleri aynı zamanda, paradigmanın tüm evrene uygulanmasını da zorlaştırır. Kozmolojide (ve temel fizikte) ilerleme kaydedebilmek için kozmolojik ölçekte geçerli, yanılgılardan, ikilemlerden ve paradokslardan uzak ve eski çerçevenin yanıtlayamadığı soruları yanıtlayan yeni bir doğa yasası anlayışına ihtiyacımız var. Ayrıca bu bilimsel bir kuram olmalı, yani yeni ve yapılabilir deneylere ilişkin çürütülebilir öngörülerde bulunmalı.

Böyle bir çerçeve arayışına, 10. Bölüm'de arayışımıza rehberlik edecek temel ilkeleri belirleyerek başladım. Bunların en önemlisi, bizi evrenin o ya da bu şekilde olmak arasında yaptığı her seçim için akılcı bir neden bulmaya zorlayan Leibniz'in yeterli neden ilkesidir. Bu ilke, başka ilkeleri de beraberinde getirir: ayırt edilemeyenlerin özdeşliği, açıklayıcı kapalılık ve karşılıksız eylemin yokluğu ilkeleri gibi. Söz konusu ilkeler, doğadaki

nesnelerin bütün özelliklerine yönelik ayrıntılı bir ilişkisel yaklaşım çerçevesi belirler.

Daha sonra bu ilkeleri hayata geçirmenin ve işler bir kozmolojik kuram keşfetmenin tek yolunun, doğa yasalarının zamanla evrimleştiği hipotezini kabul etmek olduğunu öne sürdüm. Bu, zamanın gerçek ve evrensel olmasını gerektirir. Ümit verici bir gelişme, 14. Bölüm'de de anlatıldığı gibi, genel görelilik bağlamında tercih edilen bir evrensel zaman kavramı oluşturan şekil dinamiğidir.

Doğa yasalarının evrimleşmesine izin veren gerçek bir zaman kavramı, ilkelerimizle birlikte, yeni bir kozmolojik kuramın temelini oluşturur. II. Kısım'daki, 11. ila 18. Bölümlerde betimlenen gelişmeler henüz kesin değildir ve tutarlı bir kuram haline gelmemiştir. Aksine, bunlar evreni ve kozmoloji bilimini nasıl yeni bir çerçeveye oturtabileceğimize ilişkin bir vizyondur. Hepsi kurgusaldır ama birkaç tanesi yapılabilir deneylere yönelik gerçekten test edilebilir öngörülerde bulunur. Öngörüler deneylerle doğrulansalar da doğrulanmasalar da en azından zamanın gerçek olduğu hipotezinin bizi daha bilimsel bir kozmolojiye götürdüğü fikrini kanıtlamaktadır.

Gerçek ve evrensel bir zaman kavramı, fizikteki diğer çözümlenmemiş sorunları çözme konusunda da faydalıdır. Örneğin, münferit olaylarda neler olduğunu betimlemek ve açıklamak için kuantum mekaniğinin istatistiksel öngörülerini aşmamız şarttır. 12. ve 13. Bölümlerde, kuantum olgularına ilişkin daha derin bir kurama yönelik iki yeni yaklaşım betimledim; ikisi de zamanın temel olmasını gerektiriyordu. Görüldüğü kadarıyla, bu yaklaşımlar kuantum mekaniğinden deneysel olarak ayırt edilebilecek kadar farklıdır.

Gerçek zamanın işlediği bir başka alan, termodinamiğin sıcaklık, basınç, yoğunluk ve entropi gibi kavramlarla birlikte ortaya çıktığı makro dünyadaki davranışların betimlenmesidir. Kuantum ölçeği dışındaki bu seviyede, zamanın belirgin bir yönü vardır, geleceği geçmişten kesin bir şekilde ayıran birçok zaman oku saptayabiliriz. Zamanın temel olmadığı ya da bir kav-

ram olarak ortaya çıktığı bir kuramda, evrenin zaman açısından böylesine asimetrik olması şaşırtıcıdır. Evrenin bu özelliği yüzünden doğanın en bariz ve belirgin özelliklerini fazlasıyla olasılık dışı başlangıç koşulu seçimlerine atfetmek zorunda kalırız. Zamanın gerçek olduğunu ve temel kuramın da evren gibi zaman açısından asimetrik olduğunu kabul ederek bu zorluktan kaçınmak mümkündür.

Ne var ki zamanın gerçek olduğunu söylemek başka bir şey evrenin her yerinde "tam şu anda" (yani zamanın aktığı deneyimimizle eş zamanlı olarak) neler olduğundan bahsetmenin bir anlam ifade ettiğini söylemek başka bir şeydir. Evrensel zaman fikri, zamanın aktığı deneyimimizin evrenin her yerinde paylaşıldığı anlamına gelmekle birlikte, elbette özel ve genel görelilikteki eşzamanlılığın göreliliği ilkesiyle doğrudan çatışmaktadır. Bu çatışma ile yüzleşmeye mecburuz, çünkü eşzamanlılığın göreliliği, gerçekliğin ortak bir kavram olduğu fikri ile beraber bizi, 6. Bölüm'de gördüğümüz blok evren resmine götürür ki bu resim kapsamında deneyimlerimizin en temel yönü (yani zamanın akışı) gerçek değildir.

Zamanın gerçek olduğu ama eşzamanlılığın göreliliği ile çatışmayan bir çerçeve kurgulamaya çalışabilirsiniz. Ancak bunun için tekbenci ya da gözlemci-bağımlı bir gerçeklik kavramına ihtiyaç vardır. Böyle bir kavramda, gerçek şu an ile henüz gerçek olmayan gelecek arasındaki ayrım, tüm gözlemcilerin paylaştığı nesnel bir özellik değildir. Üstelik daha önce de vurguladığım gibi, evrensel zaman hipotezi kuantum kuramını aşıp uzayı ortaya çıkan bir özellik olarak kavrama açısından son derece faydalıdır. Ayrıca şekil dinamiğinde de gördüğümüz gibi, evrensel zaman hipotezinin özel göreliliğin deneysel doğrulamalarıyla çelişmesi şart değildir. Sonuçta, doğada tercih edilen bir zaman olduğu hipotezi deneylerle teyit edilmesi gereken bir hipotezdir; kontrol edilmelerini mümkün kılacak şekilde yeni öngörüler ortaya koyan hipotezlere destek vermemin nedeni de buydu.



Yasaların evrim geçirdiği fikri, temel fiziğin öngörü gücünü artırmayı vadetmektedir. Ama beraberinde son bir ikilem daha getirir. Yasaların nasıl evrimleştiğini kontrol eden bir yasanın olup olmadığını sormak doğaldır. Doğrudan temel parçacıklar üzerinde değil de yasalar üzerinde etki eden böyle bir yasaya *meta-yasa* diyebiliriz. Bu meta-yasanın yalnızca Büyük Patlama gibi şiddet dolu dönemler sırasında etki etmesi mümkün olduğundan etkilerinin gözlenmesi zor olabilir. Fakat eğer evrenimize ilişkin tam bir açıklama, yeterli neden ilkesinin hedefini tümüyle hayata geçiren bir açıklama istiyorsak, böyle bir meta-yasanın olması gerekmez mi?

Varsayalım ki bir meta-yasa var. Evrenimizdeki yasaların evrimini neden bir başka meta-yasanın değil de bu meta-yasanın kontrol ettiğini bilmek istemez miyiz? Bir meta-yasa geçmişteki yasalar üzerinde etki ederek gelecekteki yasaları oluşturabiliyorsa, şu anki yasalara ilişkin açıklama kısmen o geçmiş yasaların ne olduğuna dayanacaktır; dolayısıyla *Neden bu başlangıç koşulları?* sorusundan kaçınamayız. Meta-yasa hipotezi, sonsuz bir gerilemeye neden olabilir (*Neden bu meta-yasa?* sorusuna meta-meta-yasalar şeklinde yanıt verilebilir, vs.). Bu ikilemin bir yönüdür. İkilemin diğer yönü ise bir meta-yasa *olmaması* ihtimalidir. Bu durumda, yasaların evriminde rastlantısallık bir unsur olacak, sonuçta yine her şeyi açıklamak mümkün olmayacak ve yeterli neden ilkesi daha bilimin temellerinde çiğnenmiş olacaktır. Roberto Mangabeira Unger ile ben buna, *meta-yasa ikilemi* adını verdik.

İlk bakışta çıkmaz bir yola girmişiz gibi görünebilir ama yıllarca bu konu hakkında düşündükten sonra aslında büyük bir bilimsel fırsatla bizi ikilemi çözüme kavuşturacak yeni bir tür kuram oluşturmaya teşvik eden bir özellikle karşı karşıya olduğumuza inanmaya başladım. Meta-yasa ikileminin çözülebileceğinden ve ikilemin çözülme şeklinin, kozmoloji ile temel fiziğin bu yüzyılda ilerlemesini sağlayacak atılımların kilidini açacağından eminim.

Sınırlı ve istatistiksel bir meta-yasa hipotezi kabul edilirse, kozmolojik doğal seçilim (bkz. 11. Bölüm) meta-yasa ikileminden geçici olarak kaçınabilir. Standart Model'deki parametrele-

rin, evren her sektiğinde ufak rastlantısal değişimler geçirdiğini öne sürdüğümde, bu ikilemden kısmen kaçınan bir tür meta-yasa betimlemiş oldum. Elbette bunun nasıl gerçekleştiği konusunda daha fazla bilgi sahibi olmak ve rastlantısal parametre değişimlerine yol açan mekanizmayı betimleyebilmek istiyoruz. Halka kuantum kütleçekimi ya da sicim kuramı gibi kuantum kütleçekimi kuramları, konuyu daha iyi bir şekilde kavramamızı sağlayabilir (söz konusu fikir ilk olarak sicim kuramı bağlamında ortaya atılmıştı). Ama konu tam olarak kavranamamış da olsa, kozmolojik doğal seçilim hipotezi şu hâliyle bile hem açıklayıcıdır hem de çürütülebilir.

Öncüllük ilkesi bir başka bir meta-yasa yaklaşımıdır. Kısmen istatistiksel olması sayesinde, bu ilke de meta-yasa ikileminden kaçınabilir ya da en azından ikilemi erteleyebilir. Bir ikilemin ertelenmesi bile, deneysel olarak incelenebilecek ve bu sayede yeni soruların ve yaklaşımların önerilmesine neden olacak hipotezlere yer açmak suretiyle verim sağlayabilir. Ama nihayetinde meta-yasa ikilemini çözüme kavuşturmak istiyorsak, yasaların evrimine ilişkin dinamikler bilindik yasalardan, *Neden bu meta yasa?* ve *Neden bu başlangıç koşulları?* sorularının akla gelmesine fırsat vermeyecek kadar farklı olmalıdır.

İkilemi şaşırtıcı bir biçimde çözen bir yaklaşım şöyledir: Bir meta-yasaya ilişkin herhangi iki önerinin birbirine denk olacağını, yani yasaların evrimi üzerindeki etkilerinin aynı olacağını kabul edin.[1] Nasıl bilişim alanında bir evrensellik varsa bir *meta-yasaların evrenselliği ilkesi* de olabilir. Bilişim bağlamında "evrensellik", bir bilgisayar tarafından hesaplanabilen herhangi bir fonksiyonun, hangi işletim sistemini kullanırsa kullansın diğer tüm bilgisayarlar tarafından da hesaplanabileceğini ifade eder. Meta-yasalara ilişkin evrensellik fikri de buna benzer: tüm deneysel öngörüler her hâlükârda aynı olacağından, hangi meta-yasanın işlediğinin bir önemi olmadığını söyler.

Kozmoloji bilimine ilişkin Newton paradigmasının ötesine geçen bir başka yaklaşım, yasa ile konfigürasyon arasında bir evlilik ortaya atmaktır. Böylece bilmemiz gereken iki şey (yasa ve

durum) değil tek bir şey olacak, yasa ve durum her ikisi hakkında da bilgi içeren bir *meta-konfigürasyon* şeklinde bir araya gelecektir. Söz konusu fikir, gerçek olan her şeyin şu an içerisinde gerçek olduğu hipotezi ile uyuşmaktadır. Bir yasa işliyorsa, o yasanın tarifi şu anın bir parçasıdır. Bir yasa tarifi ile bir konfigürasyonun tarifi birbirlerinden çok da farklı olamaz, bu yüzden ikisini tek bir meta-konfigürasyon altında birleştiririz. Nasıl Galileo, semavi ve dünyevi âlemleri birleştirdiyse, bunların gölgesini yani zaman dışı yasalar ile zamana bağlı konfigürasyon arasındaki ayrımı birleştirme vakti de gelmiş olabilir.

Bu durumda, meta-konfigürasyonun evrimini, bir evrensellik ilkesi ile açıklanabilecek kadar basit bir kural güdümler. Başlangıç konfigürasyonu seçimi hem başlangıç yasasını hem de başlangıç koşullarını belirler. Konfigürasyonun bazı kısımları hızla evrimleşirken başka kısımları çok daha yavaş evrimleşir. İlk gruptaki kısımlar konfigürasyon sayılır, bunlar daha ağır hareket eden kısımlar tarafından belirlenen yasa diyebileceğimiz özellikler aracılığıyla evrimleşir. Ama uzun bir zaman ölçeğinde, yasalar ile konfigürasyonlar arasındaki fark kaybolur. Bu fikirle ilişkili olarak şimdilik çok da gerçekçi olmayan basit bir model geliştirdim.[2]

Bu iki fikir, öncüllük ilkesi ve kozmolojik doğal seçilim ile beraber, bize meta-yasa ikileminden çıkmak için daha şimdiden dört farklı yol sunmaktadır. Elbette bunlar daha ilk adımlardır. Meta-yasa ikileminin çözülme biçiminin, 21. yüzyılda kozmolojiye yön vereceğini söylemek bir abartı olmayacaktır.



İlk bölümde matematiğin bilimdeki rolü hakkında bazı sorular ortaya atmıştım. Kitabı sonlandırmadan önce kısaca bu konuya dönmek istiyorum, çünkü artık zamanın gerçekliğinin, matematiğin, fizik içerisinde oynadığı rol üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu açıkça görülmektedir.

Newton paradigması kapsamında, zaman dışı bir konfigürasyon uzayını, matematiksel bir nesne olarak betimlemek müm-

kündür. Ayrıca yasalar ve bu yasalara ilişkin sistemin olası tarihlerini oluşturan çözümler de matematiksel nesnelerle temsil edilebilir. Matematik, fiili fiziksel süreçlere değil, sadece bu süreçler tamamlandıktan sonra elde edilen kayıtlara karşılık gelir ki bu kayıtlar da tanımları gereği zaman dışıdır. Ancak doğa, daima zaman içerisinde evrimleşen bir süreçler yumağı olarak kalır ve yalnızca küçük parçaları zaman dışı matematiksel nesneler tarafından temsil edilebilir.

Newton paradigması, bütün evreni kapsayacak şekilde genişletilemeyeceğinden, tüm evrenin tarihine tamamıyla karşılık gelen matematiksel bir nesnenin var olması şart değildir. Aynı şekilde, tüm evren için zaman dışı evrensel matematiksel nesnelerce temsil edilen zaman dışı bir konfigürasyon uzayı ve zaman dışı yasalar olması da şart değildir.

John Archibald Wheeler, kara tahtaya fizik denklemleri yazıp bir adım geri çekilir ve "Şimdi parmağımı şıklatınca bir evren ortaya çıkacak" derdi. Elbette böyle bir şey olmazdı.[3] *Zamanın Kısa Tarihi* adlı kitabında Stephen Hawking, "Bu denklemleri harekete geçirip betimledikleri evreni oluşturan nedir?" diye sorar. Bu tür söylemler matematiğin, doğadan önce geldiği fikrinin ne kadar anlamsız olduğunu ortaya koyar. Aslında matematik, doğadan sonra gelir. Yaratıcı bir gücü yoktur. Bu, şöyle de ifade edilebilir: matematikte sonuçları mantıksal çıkarımlar dayatır, doğada ise olayları zaman içerisinde işleyen sebep-sonuç süreçleri meydana getirir. İkisi aynı şey değildir; mantıksal çıkarımlar, sebep-sonuç süreçlerinin bazı yönlerini modelleyebilir ama sebep-sonuç süreçleriyle özdeş değillerdir. Mantık, sebep-sonuç ilişkilerini yansıtan bir ayna değildir.

Mantık ve matematik, doğanın bazı yönlerini yansıtabilirler, asla doğanın tamamını değil. Gerçek evrenin hiçbir zaman matematikle temsil edemeyeceğimiz bazı yönleri vardır. Bunlardan biri, gerçek doğada daima belirli bir an içinde bulunmamızdır.

Bu yüzden, zamanın gerçekliğini bir kez kavrayınca farkına vardığımız en önemli derslerden biri, doğanın tek bir mantıksal veya matematiksel sistem ile yansıtılamayacağıdır. Evren sadece

vardır ya da daha iyi bir ifade ile meydana gelir. Eşsizdir. O da doğayı oluşturan her olay (her eşsiz olay) gibi, tek bir kez meydana gelir. Evren neden var, neden hiçlik yerine bir şeyler mevcut sorusu muhtemelen yanıtı olmayan sorulardan biridir. Belki de varlık, var olan diğer şeylerle ilişki içerisinde olmak demek ve evren de tüm bu ilişkilerden oluşan bir kümeden ibaret. Evrenin kendisi ile dışındaki herhangi bir şey arasında bir ilişki yoktur. Evrenin neden hiç var olmamak yerine var olduğu sorusu, yeterli neden ilkesinin kapsamı dışındadır.

Peki, eğer kozmolojinin keşifleri zaman dışı olan bir başlangıç koşulları uzayı üzerinde etki eden tek bir zaman dışı yasayla ifade edilmeyecekse, nasıl ifade edilecek? Kozmolojinin geleceği bu soruya dayanmaktadır. Biraz düşününce bazı olası yanıtlar ortaya çıkar.

Verdiğim kozmolojik doğal seçilim ve öncüllük ilkesi gibi örnekler, Newton paradigmasını aşan test edilebilir bilimsel kuramlar oluşturabileceğimizi göstermektedir. Bilim tarihinde matematiksel olarak ifade edilmesi gerekmeyen birçok hipotez olduğunu hatırlamak faydalıdır. Hatta bazı durumlarda matematik, bu hipotezlerin sonuçlarına ulaşmak için de gerekli değildir. Doğal seçilim kuramı, buna örnek verilebilir; bu kuramın bazı yönleri basit matematiksel modellerle yansıtılmaktadır ama doğal seçilimin doğada işlemesini sağlayan farklı mekanizmaların tamamını yansıtan tek bir model yoktur. Hatta yeni türler doğdukça yeni evrim mekanizmaları da meydana çıkabilir.

Bir hipotezin bilimsel kabul edilmesi için doğrulanmasını ya da çürütülmesini sağlayabilen gözlemler önermesi gerekir. Bu şart, bazen hipotezin matematiksel bir şekilde ifade edilmesini gerektirir; bazen de gerektirmez. Matematik, bilimin kullandığı dillerden biridir; güçlü ve önemli bir yöntemdir. Ama bilime uygulanması, matematiksel hesaplamalardan elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçların özdeşleştirilmesine dayanır. Oysa deneyler matematiğin dışında, gerçek doğada yapıldığından bu ikisi arasındaki bağlantının gündelik bir dile dökülmesi gerekir. Matematik harika bir araçtır ama sonuçta bilimi yöneten dil, konuşma dilidir.

✧✦✧

Karşı karşıya olduğumuz zorluğu hafife almamalıyız. Kozmoloji bilimi bir kriz içerisindedir ve kesinlikle emin olduğumuz tek şey şimdiye kadar büyük faydasını görmüş olduğumuz yöntemler temelinde çalışmaya devam etmenin bizi bir yere götürmeyeceğidir. Ortaya çıkan paradokslar sayesinde, standart Newton paradigmasını kozmolojinin temeline yerleştirdiğimizde neler olduğunu görebiliyoruz. Bu yüzden, bilinmeyene doğru ilerlemek zorundayız. Radikal programlar arasında bir seçim yapmamız gerekiyor. Hangisinin doğru olduğuna, ancak hangisinin yeni yapılacak gözlemlere dair test edilebilir öngörülerde bulunduğunu gördükten ve o gözlemleri yaptıktan sonra karar verebiliriz. Ayrıca yeni herhangi bir kuramın bildiğimiz ama hâlâ gizemini koruyan olguları sağlıklı bir biçimde açıklamasını umacağız. Bu zor sorulara ilişkin farklı yaklaşımları desteklememiz gerekir.

Ama yine de seçenekler açık. Önümüzdeki seçenekleri karşılaştırabilmek için sonraki iki sayfada, bu kitapta karşılaştığımız birbiriyle çelişkili iddia çiftlerini listeleyeceğim. Bunlar zamanı bir yanılsama olarak görmenin veya gerçekliğin merkezine koymanın sonuçlarını bir çerçeveye oturtmaktadır.

Bilimde hiçbir şey kesin değildir. Ancak belirsizliklerle karşılaştığımızda yapabileceğimiz şey farklı hipotezleri destekleyen makul savlar oluşturmaya çalışmaktır. Bu kitapta da böyle yapmaya çabaladım. Nihai test deneyler olsa da bir araştırma programının ne kadar yeni hipotez ve bunların test edilmesini sağlayan ne kadar öngörü ürettiğine bakarak bazı sonuçlar çıkarabiliriz.

Zaman dışı evreni temel alan ve kuantum mekaniği ile çoklu evreni nihai kuram olarak benimseyen araştırma programı, yirmi yıldan uzun süredir devam etmektedir. Şimdiye kadar, günümüzde yapılabilir bir deney için tek bir çürütülebilir öngörü ortaya koyamamıştır. En iyimser görüşle, şansımız varsa kalıntılarını gözlemleyebileceğimiz yeni bir olguya, yani kabarcık evrenler arasındaki çarpışmalara ilişkin spekülasyonlarda bulunur. Ancak bu spekülasyonlar doğrulanabilir öngörüler değildir, çünkü ön-

Zaman bir yanılsamadır. Doğru ve gerçeklik zaman dışıdır.

Uzay ve geometri gerçektir.

Doğa yasaları zaman dışıdır ve yalnızca insancı ilke aracılığıyla seçilmiş olmaları halinde onları açıklayabiliriz.

Gelecek, evrenin başlangıç koşulları üzerinde etki eden fizik yasaları tarafından belirlenir.

Evrenin tarihi, her yönden, matematiksel bir nesne ile özdeştir.

Evrende uzay sonsuzdur. Olasılığa dayanan öngörüler sorunludur, çünkü sonunda iki sonsuz niceliğin birbirine oranını saptamanız gerekir.

Başlangıçtaki tekillik, zamanın başlangıcıdır (tabii, eğer zamanın bir tanımı varsa) ve açıklanamaz.

Gözlenebilir evrenimiz, eş zamanlı olarak var olan ancak gözlenemeyen evrenlerden oluşan sonsuz bir kümenin üyesidir.

Denge durumu, doğal durumdur ve evrenin kaçınılmaz kaderidir.

Evrende gözlemlenen karmaşıklık ve düzen, ender bir istatistiksel dalgalanmadan kaynaklanan gelişigüzel bir tesadüftür.

Kuantum mekaniği nihai kuramdır ve bu kuramın doğru yorumu, fiilen var olan sonsuz sayıda alternatif tarih bulunduğu şeklindedir.

görüler doğrulanamasa da bu durum spekülasyona herhangi bir zarar vermeden kolayca geçiştirilebilir. Zeki ve kararlı bilim insanları tarafından yıllardır sürdürülen çalışmalara rağmen, programın karşılaştığı temel zorluklar da çözülebilmiş değildir. Bu zorluklar, sonsuz sayıda evrenden yalnızca birini gözleyebiliyor-

Zaman, doğa algımızın en gerçek yönüdür. Doğru ve gerçek olan her şey zaman içerisinde peş peşe gelen anlardan bir an içerisinde doğru ve gerçektir.

Uzay, ortaya çıkan bir kavramdır ve kaba bir tahmindir.

Doğa yasaları zaman içerisinde evrimleşir, onları açıklamak için tarihlerine bakabiliriz.

Gelecek tam olarak öngörülemez, dolayısıyla kısmen açık uçludur.

Doğadaki birçok düzenli süreç matematiksel kuramlarla modellenebilir. Ama doğaya ait her özelliğin matematikte bir aynası yoktur.

Evrende uzay sonludur. Olasılıklar ise sıradan göreli sıklıklardır.

Büyük Patlama, aslında ondan önceki evrenin tarihi ile açıklanması gereken bir sekmedir.

Evrenimiz, art arda gelen evren çağlarından biridir. Önceki çağların fosilleri ya da kalıntıları kozmolojik veriler içerisinde gözlenebilir.

Evrenimizin yalnızca küçük alt sistemleri homojen dengeye ulaşır; kütleçekimiyle bağlı sistemler ise evrimleşerek yapısal heterojen konfigürasyonlar oluşturur.

Evren, kütleçekiminin etkisi altında, doğal olarak gittikçe artan karmaşıklık seviyeleri oluşturacak şekilde kendini düzenler.

Kuantum mekaniği, bilinmeyen bir kozmolojik kuramın kaba bir tahminidir.

ken öngörülerde bulunmakla; her olayın sonsuz sayıda kopyası varken olasılıkları tanımlamakla ve basitçe söylemek gerekirse, gözlemlerimizin menzili ötesinde doğru olabilecek şeyler hakkında ortaya atılan senaryolara gözlemlerin ya da kuramların herhangi bir sınır getirememesiyle ilişkilidir.

Bu fikirlerin incelenmesinin önemli bir sonuca yol açmayacağından emin olamayız ama tarihin bunları başarısızlıklar (bilimin temellerinde yatan bir soruna yönelik hatalı bir yaklaşımın neden olduğu başarısızlıklar) olarak tanımlaması muhtemel görünmektedir. Söz konusu başarısızlık, evrenin küçük parçalarını incelemeye uygun bir yöntemi alıp varlık âleminin tamamına uygulamaktan kaynaklanır.

Bu nitelemem doğru ise başarısızlık yüzeysel değildir ve aynı türden başka bir senaryo ortaya atarak çözülemez. *Neden bu yasalar? ve Neden bu başlangıç koşulları?* gibi kozmolojik sorulara, yasaları ve başlangıç koşullarını girdi olarak kabul eden bir yöntemle yanıt veremeyiz. Çözüm radikal olmalı, yalnızca yeni bir kuram değil, yeni bir yöntem ve dolayısıyla da yeni bir kuram türü oluşturmayı kapsamalıdır.

Önümüzdeki görev, göz korkutucu olabilir ama lehimizde olan birkaç şey de var. Yasaların evrimine dair (evrenin Büyük Patlama'dan önceki olası bir tarihini konu alan) hipotezleri bir çerçeveye oturtmaya yönelik ilk ve muhtemelen ilkel girişimlerimiz, yapılabilir deneylere ilişkin çürütülebilir öngörülere yol açmıştır. Kozmolojik doğal seçilimin ve devirli kozmolojinin öngörüleri de bunlar arasındadır. Bu fikirlerden birinin doğru olup olmadığını söylemek için çok erken ama günümüzdeki veya yakın gelecekteki gözlemler sonucunda yanlış olduklarını saptayarak onları reddedebileceğimizi bilmek cesaret verici. Bu basit örnekler, evrenimizin peş peşe gelen evrenlerden biri olduğunu söyleyen senaryoların test edilebilir ve dolayısıyla da bilimsel olduğuna işaret etmektedir.

Lehimizdeki bir başka şey de tarihteki en büyük kozmolojik düşünürlerin, özellikle de Leibniz, Mach ve Einstein'ın bilgeliğidir. Fiziğin günümüze kadar gösterdiği gelişimde bize çok büyük fayda sağlayan birkaç ilkeyi onlardan aldık.

Bu düşünce biçiminden kaynaklanan en radikal öneri, şu anın gerçek olduğu konusundaki ısrarımız ve onun da ötesinde, gerçek olan her şeyin şu an içerisinde gerçek olduğunu söyleyen ilkedir. Bu fikrin verimli olması halinde, fiziği artık evrenin tama-

men özdeş matematiksel kopyasını bulma çabası olarak düşünemeyiz. Bu rüya, bundan böyle nesiller boyu kuramcılara ilham veren ama günümüzde ilerlemenin önünü tıkayan metafizik bir fantezi olarak görülmelidir. Matematik, görevini bilimin hizmetçisi olarak sürdürecektir, artık veziri olamaz.

Veziri feda ederek elde ettiğimiz ödül, fiziksel kuramların yapı taşlarına dair daha demokratik bir vizyondur. Hanedan ile avam arasındaki farkın uzun süre önce ortadan kalkması gibi, biz de doğadaki olgu durumları ile bunların zamanla evrimleşmesini sağlayan yasalar arasındaki mutlak ayrımı reddetmeli ve onun ötesine geçmeliyiz. Artık doğanın zamana bağlı konfigürasyonunun evrimini mutlak ve zaman dışı yasaların belirlediğini kabul edemeyiz. Eğer gerçek olan her şey bir an içerisinde gerçekse, yasalar ile durumlar arasındaki ayrım yalnızca bizimki gibi görece soğuk ve sakin kozmolojik çağlarda ortaya çıkan ve fark edilebilen, göreli bir ayrım olmalıdır. Ama daha şiddet dolu diğer çağlarda bu ayrım çözülerek yerini makul, yeterli neden ilkesine uyan, tamamen dinamik yeni bir doğa betimlemesine bırakmalıdır.

Yasaların zaman içerisinde evrimleşmesine izin vererek bu yasaları test edilebilir sonuçları olan hipotezlerle açıklama şansımızı artırmış oluruz. Yasaların evrim geçirmesi onların güçlerini azaltıyormuş gibi görünebilir ama aslında bu, genel anlamda bilimin gücünü artırmaktadır; öte yandan, Newton paradigmasında işe yarayan fikirleri kozmoloji alanına genişletmek ise bilimin gücünü zayıflatır. Doğa anlayışımıza evrim ve zaman kavramlarını en derin seviyede dâhil edersek, kendimizi içinde bulduğumuz bu gizemli evreni kavramamız kolaylaşacaktır.

Peki, bu yeni yol başarılı olacak mı? Bunu yalnızca zaman gösterecek.

Sonsöz

Zaman İçerisinde Düşünmek

İLK ALETLERİN İCADINDAN EMEKLEME dönemindeki kuantum teknolojilerimize kadar insan uygarlığının gösterdiği tüm ilerleme, hayal gücünün disiplinli bir şekilde kullanılmasının sonucudur. Hayal gücümüz, tehlike ile fırsat arasındaki bıçak sırtında başarılı olmamızı sağlayan organımızdır; zamanın gerçekliğine uyum göstermemizi sağlar. Bizler mükemmel birer bilgi avcısı, toplayıcısı ve işlemcisiyiz ama sadece bunlardan ibaret değiliz: Elimizdeki verilerin işaret etmediği durumları hayal edebilme yetisine de sahibiz. Hayal gücümüz, tehlikeler kapımıza dayanmadan önce onları sezmemizi sağlar, böylece onları karşılamak için planlar yapabiliriz. Geceleri bir kaplanla başa çıkamayız ve kaplan bir kez saldırdı mı, çocuklarımızı yemesine engel de olamayız. Ama böyle bir olayı hayal edebildiğimiz için kaplanı uzak tutacak bir ateş yakabiliriz.

Kaplanları uzak tutmak için ateş yakabileceğimizi bilmek kulağa çok da etkileyici gelmeyebilir ama birkaç yüz bin yıl önce bunu akıl eden ilk kişiyi düşünün. O dönemde ölümcül bir tehlikeyi uzak tutmak için başka bir ölümcül tehlikeden faydalanmak çılgınca görünmüş olmalıdır. Yalnızca ateşin kontrol edilebileceği fikri bile büyük miktarda hayal gücü ve cesaret gerektirmiş ol-

malıdır. Modern yaşantımızda ateşi evimizin her yerinde, duvardaki kablolarda, ocakta, bodrumdaki kalorifer kazanında gizleyerek yaşıyoruz. Ateş aklımıza bile gelmiyor, en azından bir yere gitmek için arabaya bindikten sonra ocağı kapattım mı, kapatmadım mı diye düşünmeye başlayana kadar. Ama eğer yüz binlerce yıl önce ateşi dizginleme yollarını hayal eden insanların soyundan gelmiyor olsaydık, bugün hâlâ av olacaktık.

İnsan yaşamındaki büyük pazarlık işte budur: belirsizliğin eşiğinde başarılı olmak. En büyük başarılarımızı fırsat ile tehlike arasındaki sınırda kazanır ve her şeyi kontrol edemeyeceğimizi ya da ara sıra kötü şeylerin olmasını engelleyemeyeceğimizi bilerek yaşarız.

Diğer hayvanlar, çevrelerine uyacak biçimde evrim geçirmiştir. Onlar için sürpriz neredeyse her zaman kötü haberdir, çünkü onları çevrelerinde uyum sağlamadıkları bir tehlikeye maruz bırakan bir değişikliğe işaret eder. Bizim atalarımız ise evrimlerinin bir noktasında yeni çevrelere uyum sağlamalarına imkân veren hayal gücü organını geliştirdi. Hayal gücü, değişimi ve sürprizi fırsatlara dönüştürerek etki alanımızı tüm gezegene yaymamızı sağladı.

Yaklaşık 12 bin yıl önce çevremizi kendimize uydurduk ve fırsatçı avcı-toplayıcılıktan çiftçiliğe geçtik. O zamandan beri etki alanımız büyümüş ve günümüzde dünyanın doğal sistemleri üzerindeki taleplerimiz bize büyük zarar verebilecek hâle gelmiştir. Hayal gücü en iyi bildiğimiz oyun olduğuna ve bizi bu noktaya hayal gücümüz getirdiğine göre, gelecekteki sürprizleri güvenli bir şekilde aşmamızı sağlayacak yeni fikirler de yalnızca hayal gücümüzden gelebilir.

Çevreye uyumun motoru olan hayal gücü, insan yaşamının trajik yönünü, yani kaçınılmaz olan ölümümüzü hayal edebilmemize de neden olmuştur. Mümkün olduğunca uzun yaşama isteğimiz, hatta ihtiyacımız nedeniyle kaçınılmaza karşı çıkar, insan olduğumuz için de aşırıya kaçarız; hem de önemli ölçüde. Bunun bir sonucu uygarlıkların, bilimin, sanatın ve neredeyse kanıksadığımız harika teknolojilerin tomurcuklanmasıdır. Bir diğeri ise

hızlı yok oluşa karşı alınabilecek en güvenilir önlemin hızlı gelişme olduğu düşüncesiyle aşırıya kaçmamız sonucunda ürettiğimiz atıklardır. Dolayısıyla görece dar ve ender bir yaşam sahasına uyum sağlamak üzere gelişen bir tür, gezegenin tüm yüzeyini fethetmiştir. Bizim sayımız milyarlarla ölçülmekte. Bizi diğer canlılardan ayıran türleşme süreci genellikle 'kültür'e atfedilir ama kültür de bitmek bilmez hayal gücümüz ve daha iyi yaşama arzumuz için kullandığımız başka bir sözcükten ibaret değil midir?

Çok fazla şey istemeyen, çevrelerinden ve toplumlarından asgari miktarda talepte bulunan, çevreleri ile içgüdüsel olarak denge içinde yaşayan varlıkları kafamızda canlandırabiliriz. Bazılarımız böyle olabilmeyi diler; daha basit bir yaşam sürmek gerçekten de iyi bir tavsiyedir ama genelde insanın doğası böyle değildir. Bizim doğamız daima sahip olduğumuz şeylerden fazlasını ve başkasını arzu etmektir. İnsan olmak demek, olmayanı hayal etmek, limitleri aşmayı arzulamak, kısıtlamaları test etmek, bildiğimiz dünyanın korkutucu sınırlarının ötesinde düşüp kalkarak keşfe çıkmak demektir.

Sınırları yıkmanın, çevremizle uyumsuz bir yaşam sürmenin kapitalizme ve çağdaş teknolojik topluma ait bir hastalık olduğu şeklinde romantik bir fikir vardır. Ama aslında öyle değil. Taş Devri'nde Kuzey Amerika'yı fethederken kıta boyunca ilerleyip büyük memelilerin çoğunun soylarını tüketmiştik. Kabileler arası savaşlarda ölen avcı-toplayıcıların oranı, 20. yüzyıldaki iki dünya savaşında ölen Avrupalıların oranından çok daha fazladır.

Görüldüğü kadarıyla bir tür olarak gezegenin ekosistemleri ve kaynakları üzerinde kurduğumuz hâkimiyetin doruk noktasındayız. Hepimiz şu anki durumun sürdürülemeyeceğinin farkındayız. Sürdürülemez bir noktaya gelmemiz kaçınılmazdı; katlanarak artan büyümenin sonucu hep böyle olmuştur. Bizler, yalnızca doruk noktası ile geçmiştekinden daha akıllıca davranmayı hızla öğrenmezsek yaşayacağımız kriz arasındaki dönemde dünyaya gelmiş şanslı bireyleriz. Eğer zaman dışında düşünmekte ısrar edersek iklim değişikliğinden kaynaklanan eşi görülmemiş sorunları çözmeyi başaramayacağız. Sırtımızı standart

siyasi çözüm mönüsüne dayayamayız, çünkü bu sorunlar zaten mevcut siyasi sistemlerimizin başarısızlığından kaynaklanmıştır. Yalnızca zaman içerisinde düşünürsek daha yüzyıllar boyunca başarılı olma şansına sahip olabiliriz.

Çocuklarını korumak için ilk kez ateşi kontrol altına alma cesaretini gösteren biri vardı. Acaba kim, çocuklarımızın güvenliğinin iklimi yönlendirmeyi öğrenmemize bağlı olabileceğini fark edecek cesareti gösterecek?



2080 yılında olduğumuzu ve iklim değişikliği sorunlarıyla yüzleşip bunların üstesinden geldiğimizi hayal edelim. Çocuklarımız yaşlanmış olacak ya da belki tıptaki gelişmeler sayesinde hâlâ hayatlarının baharında olacaklar. Felâketi atlatmış olmaları acaba düşünce biçimlerini nasıl değiştirecek?

Karbondioksit salınımlarını kontrol altına almak için hiçbir şey yapmazsak çocuklarımızın bakış açılarının ne olacağını hayal etmek daha kolay. Yükselen sıcaklıklar ve deniz suyu seviyeleriyle, kuraklık ve verimsizlikle karşı karşıya kaldıklarında, kuzeydeki şehirler göçmenlerle dolduğunda bize neler demek isteyeceklerini rahatlıkla tahmin edebilirsiniz.

Ama farz edelim ki tüm bunlardan kaçınacak kadar akıllıca davranabildik. Geçen sürede böyle bir başarı kazanmamıza imkân veren ne öğrenmiş olabiliriz? Bu krizin çözümü (felâketi atlatmanın dışında) topluma nasıl bir olumlu katkı sağlamış olabilir? İklim değişikliğine ilişkin yazılı kaynaklar, normalde olumsuz ifadelerle doludur. Harekete geçmemenin korkunç sonuçlarını tekrar tekrar okuyoruz ama hiçbir yerde sorunu çözdüğümüzde elde edeceğimiz ilâve faydalara ilişkin bir tartışma bulamıyoruz. Spor yapan ve doğru beslenen insanlar, sağlıklı bir yaşamın hastalanmama ve erkenden ölmekten kaçınma güdülerine ağır basan olumlu etkileri olduğunu fark eder. Sağlıklı bir gezegeni destekleyen bir ekonomide yaşamanın da benzer olumlu etkileri olabilir mi?

İklim krizini aşmanın sonuçlarını öngörmek zordur, çünkü bunu başarmak için küresel bir mühendislik sorununu çözmek yeterli değildir. Krizin ciddiyetinin farkında olan kişilerin bile her ikisi de hatalı iki görüşten birine ya da ötekine körü körüne bağlanmış olması, gerçekten gelişme kaydetmemizi engelliyor. Dünyaya ekonomik açıdan bakanlar için doğa, kullanılması ve aşılması gereken bir kaynaktan, iklim değişikliği de fayda-maliyet analizi ile yönetilecek daha geniş ölçekli tarımsal bir sorundan ibarettir. Çevre eylemcileri içinse doğa, ilerleyen uygarlığın ancak istilâ edip bozabileceği mükemmel ve saf bir şeydir; onlar için iklim değişikliği sadece başka bir çevre koruma sorunudur. İki taraf da asıl önemli hususun farkında değildir, çünkü ikisi de doğa ile teknolojinin birbirini dışlayan kavramlar olduğunu, ikisi çatıştığında aralarından birini seçmemiz gerektiğini düşünüyor. Ama kriz için yeterli bir çözüm bulmak istiyorsak doğal ile yapay arasındaki farkı bulandırmamız gerek. Doğa ile teknoloji arasında bir seçim yapmamız değil, bunların birbirleriyle olan ilişkisini gözden geçirmemiz gerekiyor.

Bilim dünyası, ezici bir oybirliğiyle günümüzde iklimin dengesini bizim bozduğumuzu söylüyor ama iklimin geçmişte oldukça farklı durumlar arasında ani dalgalanmalar gösterdiği de bir gerçek. Eğer bu tekrarlanırsa, bizden kaynaklanmış olsun ya da olmasın, bizim için korkunç sonuçları olacaktır. İklimde büyük değişiklikleri engelleme veya hafifletme imkânına sahip olduğumuza göre, bu imkândan yararlanmamız şarttır. Tıpkı Dünya'ya çarpabilecek asteroidleri arayıp yok etmemizin şart olması gibi. Bu acil durumu atlattıktan sonra da iklimi, insanlığın yaşamayı başarabileceği bir aralıkta tutmak için gereken düzenlemeleri sürdürmemiz gerekecektir. Bu, teknolojilerimizi hâlihazırda iklimi düzenleyen doğal döngü ve sistemlerle birleştirmek anlamına gelir.

İklimi düzenleyen doğal sistemlerin teknolojilerimize nasıl tepki verdiklerini anlayınca ve teknolojilerimiz ile ekonomilerimizi iklimle uyum içinde çalışacak bir hâle getirince, tüm gezegen ölçeğinde doğal ile yapay arasındaki ayrımın ötesine geçmiş olacağız. Ekonomi ve iklim tek bir sistemin parçaları olacak. İk-

lim krizini atlatabilmek için yeni bir sistem, iklimi yöneten doğal süreçlerle teknolojiye dayanan uygarlığımız arasında bir ortak yaşam tasarlamamız ve hayata geçirmemiz şart.

Kendimizi doğanın dışında, teknolojilerimizi de doğal dünya için bir mecburiyet olarak görmeye alışkınız. Ama ister doğayı fethettiğimizi hayal edin ister doğanın bizden kurtulduğunu, doğadan ayrı olduğumuz fikri artık miadını doldurmuştur. Eğer bir tür olarak hayatta kalmak istiyorsak, kendimizi yeni bir şekilde görmeye, kendimizin de ürettiğimiz ve yaptığımız her şeyin de bizi oluşturan ve her nefesimizle katkıda bulunduğumuz karbon ve oksijen döngüleri kadar doğal olduğunu kabul etmeye ihtiyacımız var.

Bu göreve başlayabilmek için yapay ile doğal arasındaki ayrımın kökenlerini anlamalıyız. Bu kavramlar *zaman* ile yakından ilişkilidir. Ardımızda bırakmamız gereken yanlış fikir, zamana bağlı olan şeylerin birer yanılsama, zaman dışı olan şeylerin ise gerçek olduğu fikridir.

Söz konusu bu daimi felsefe, ilk olarak Aristoteles ve Batlamyus kozmolojisinin Hıristiyanlık'taki yorumlarında görülür. 1. Bölüm'de de değindiğim görüş uyarınca, yaşam gibi ölümün ve çürümenin de tek mekânı olan dünyevi âlem, Ay'ı, Güneş'i ve gezegenleri taşıyarak ebediyen Dünya etrafında dönen değişmez saydamlıkta mükemmel kürelerle çevrilidir. En dış küreye yıldızlar sabitlenmiştir ve onun da üzerinde Tanrı ile melekleri vardır. İyilik ile doğruluğun üzerimizde, kötülük ile aldanmanın altımızda olduğu yönündeki yaygın düşünce bu senaryodan kaynaklanır. Gezegenimizle yaşamayı öğrenmek için bu eski göğe yükselme arzusunun kalıntılarından kendimizi kurtarmamız şarttır.

Her ne kadar farklı insanlar tarafından farklı biçimlerde algılansa da aynı hiyerarşi, doğal ile yapay arasındaki ayrım için de geçerlidir. Bazıları yapay şeyleri düşünsel bir maksadı olmayan, karmaşık evrimin değil de aklın ürünü olmaları sebebiyle mutlak mükemmelliğe, dolayısıyla da zaman dışılığa daha yakın görür ve bu nedenle onlara, canlıların doğal dünyasından daha fazla değer verir. Bazıları ise yapay şeylerde rastlanmayan bir saflığa sahip olduklarını düşünerek doğal olan şeylere daha fazla değer verir.

Doğal ile yapayı birbirinden ayıran bölünmüş ve hiyerarşik bu kavramsal yapıyı nasıl ortadan kaldırabiliriz? Söz konusu kavramsal kapandan kurtulabilmek için bir şeyin zaman dışı olduğu veya olabileceği fikrini yok etmemiz gereklidir. Kendimiz ve teknolojilerimiz de dâhil doğadaki her şeyin zamana bağlı olduğunu, daha büyük, sürekli evrimleşen bir sistemin parçalarını oluşturduğunu görmeliyiz. Zamanın olmadığı bir dünya, aşılması imkânsız bir dizi sabit olasılıktan oluşan bir dünyadır. Öte yandan, eğer zaman gerçekse ve her şey zamana tâbi ise sabit bir olasılıklar grubu da yoktur, sorunlara ilişkin hakikaten yeni fikirler ve çözümler ortaya atmanın önünde bir engel de. Yani doğal ile yapay arasındaki ayrımın ötesine geçmek ve her ikisini de kapsayan sistemler oluşturmak için kendimizi zamanın içerisine yerleştirmeliyiz.

Yeni bir felsefeye, doğal ve sosyal bilimler arasında bir bilgi birlikteliği yaratarak doğal ile yapay arasındaki birleşmeye zemin hazırlayan, insan unsurunu doğada hak ettiği yere koyan bir felsefeye ihtiyacımız var. Bu felsefe, doğru olmasını istediğimiz her şeyin doğru olabileceğini söyleyen rölativizm felsefesi değildir. İklim değişiminin getirdiği zorlukları atlatabilmek açısından, neyin doğru olduğunu bilmek büyük önem taşıyor. Ayrıca hem doğruluk ve güzelliğin resmi ölçütlerce belirlendiğini söyleyen modernist düşünceyi hem de buna tepki olarak ortaya çıkan ve gerçeklikle ahlâkın toplumsal yapılardan ibaret olduğunu söyleyen postmodern başkaldırıyı da reddetmeliyiz. İhtiyacımız olan şey, şu anın geleceği sınırladığını ama belirlemediğini, bu yüzden yeniliğin ve buluşların mümkün olduğunu söyleyen ilişkisel bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım zaman dışı, mutlak bir mükemmelliğe ulaşmaya yönelik yanlış umutların yerine, insan unsurunun geleceği açık bir kozmos içerisinde sürekli genişleyen bir etki alanına sahip olduğu, hakikaten ümit verici bir bakış açısı koyacaktır.

Yeni felsefe programının bir parçası, zamanın kozmolojik ölçekte oynadığı kilit rolü kabul ederek kozmolojiyi bilim dışı bir yola sapmaktan kurtarmaktır. Bu bilimsel görev, elinizdeki kitabın odağını oluşturmuştur. Aynı derecede önemli bir konu da şudur: bir uygarlıktaki bilim insanları ve filozoflar zamanın bir

yanılsama, geleceğin de sabit olduğunu öğretiyorsa, o uygarlık muhtemelen siyasi kurumları, teknolojiyi ve doğal süreçleri ortak bir paydada (bu yüzyıldan sonraki sürdürülebilir gelişimimiz açısından hayati öneme sahip bir paydada) buluşturacak hayal gücüne sahip olmayacaktır.



Gerçekliğin zaman dışı olduğunu söyleyen metafizik görüşün en büyük zararı, muhtemelen iktisat üzerindeki etkisinden kaynaklanmıştır.[1] Birçok iktisatçının düşünce yapısındaki temel hata, pazarların tek bir denge noktasına sahip birer sistem olduğu fikridir. Arz ve talep kanunu uyarınca, denge noktası her bir ürün için fiyatın arz ile talebin birbirini tam olarak karşılamasını sağlayacak biçimde ayarlandığı bir durumdur. Üstelik böyle bir noktada bulunmanın herkesin memnuniyetini en iyi seviyeye çıkardığı söylenir. Denge noktasındayken birinin mutluluğunu azaltmaksızın başka birinin mutluluğunu artırmanın imkânsız olduğunu öne süren bir matematik teoremi bile bulunmaktadır.[2]

Eğer tüm pazarlarda böyle tek bir denge noktası varsa, akılcı ve ahlâki olarak yapılması gereken, bu noktaya ulaşabilmesi için pazara müdahale etmekten kaçınmaktır. Pazar kuvvetleri (yani üreticiler ve tüketicilerin fiyatlardaki değişimlere tepki verme biçimleri) bu noktaya ulaşmak için yeterli olacaktır. Bu fikrin yeni bir modeli, fiyatların bir pazar hakkında ihtiyaç duyulan tüm bilgileri yansıttığını öne süren *etkin pazar hipotezidir*. Birçok oyuncunun verdikleri ve istedikleri fiyatlar aracılığıyla bilgilerini ve görüşlerini ortaya koyduğu bir pazarda, herhangi bir malın uzun süre yanlış fiyatlandırılması mümkün değildir. Denge noktalarının daima mevcut olduğuna dair kesin kanıtlar içeren zarif matematiksel modellerin bu düşünce biçimini desteklemesi dikkat çekicidir; yani fiyatlar daima arzın, talebi tam olarak karşılamasını sağlayacak biçimde seçilebilir.

Pazarın daima denge noktasına dönecek şekilde işlediğini söyleyen bu basit resim, bir tek denge noktası olduğu varsayımı-

na dayanır. Ama gerçek böyle değildir. İktisatçılar, 1970'lerden beri matematiksel pazar modellerinde normalde arzın talebe eşit olduğu birçok denge noktası bulunduğunu bilmektedir. Kaç tane mi? Sayıyı kestirmek zordur ama en azından çok hızlı olmasa da şirketlerin ve tüketicilerin sayısıyla orantılı olarak arttığı kesindir. Birçok ürünün birçok firma tarafından üretildiği ve birçok tüketici tarafından satın alındığı karmaşık bir modern ekonomide, malların fiyatını arz ile talebin eşit olmasını sağlayacak biçimde belirlemenin birçok yolu vardır.[3]

Pazar kuvvetlerinin birbirine eşit olduğu birçok denge noktası bulunduğuna göre, bu denge noktalarının hepsi tamamen kararlı olamaz. O halde sorulması gereken soru, toplumun denge noktaları arasında nasıl seçim yaptığıdır. Seçim yalnızca pazar kuvvetleri ile açıklanamaz, çünkü olası denge noktalarının hepsinde arz ve talep birbirine eşittir. Öyleyse bir pazar ekonomisinin evrimini belirlemede düzenlemeler, kanunlar, kültür, ahlâk ve siyaset vazgeçilmez bir rol oynamaktadır.

Peki, önemli meslektaşları tarafından ortaya konulan kendi yazılı kaynaklarındaki sonuçlarca yanlış olduğu kanıtlanmasına rağmen, itibarlı iktisatçılar nasıl on yıllar boyunca tek, eşsiz bir denge noktası bulunduğu fikrini savunabilmiştir? Ben, bunun zaman dışı olanın zamana bağlı olana kıyasla daha çekici görülmesinden kaynaklandığına inanıyorum. Çünkü eğer tek bir kararlı denge noktası varsa, pazarın zaman içinde geçirdiği evrimin dinamikleri çok da önemli değildir. Pazar her hâlükârda dengeye ulaşacak, bozulması halinde bu denge noktası etrafında salınım yaparak tekrar aynı noktaya yerleşecektir. Başka bir şey bilmeniz gerekmez.

Eğer eşsiz ve kararlı bir denge noktası varsa, insan unsurunun (firmaların kârlarını, tüketicilerin de memnuniyetlerini en yüksek seviyeye çıkarmaları haricinde) pek rolü yoktur ve yapılabilecek en iyi şey bu denge noktasına ulaşılabilmesi için pazarı rahat bırakmaktır. Ama eğer birçok olası denge noktası varsa ve hiçbiri tamamen kararlı değilse, insan unsuru müdahale edip birçok olası denge noktası arasından birini seçen dinamik-

leri yönlendirmek zorundadır. Liberalleştirme adına zafer kazanan iktisat alanındaki liderlerin düşünce biçimleri doğrultusunda, doğanın sahip olduğu düşünülen zaman dışı bir durum adına insan unsuru göz ardı edilmiştir. Son ekonomik krize ve durgunluğa neden olan politika yanlışlarına yol açan derin kavramsal hata işte buydu.

Bu hatadan bahsederken yola bağımlı olma ve yoldan bağımsız olma kavramlarından yararlanmak da mümkündür. Bir sistemin, bir konfigürasyondan diğerine nasıl evrimleştiği önemliyse sistem *yola bağımlıdır*. Yani şu anki durumumuz yalnızca nerede olduğumuza değil, buraya nasıl ve hangi yoldan geldiğimize de bağlıdır. Eğer her şey yalnızca sistemin şu ani konfigürasyonuna bağlıysa ve hiçbir şey oraya nasıl ve hangi yoldan geldiğine bağlı değilse, sistem *yoldan bağımsızdır*. Yoldan bağımsız bir sistemde, zaman ve dinamikler ufak bir rol oynar, çünkü herhangi bir anda sistem ya eşsiz bir durum içerisindedir ya da bu durum etrafında hafif dalgalanmalar göstermektedir. Yola bağımlı bir sistemde ise zamanın önemli bir rolü vardır.

Neoklâsik iktisat, iktisadı yoldan bağımsız olarak kavramsallaştırır. Tek, kararlı bir denge durumuna sahip bir pazar gibi, etkin bir pazar da yoldan bağımsızdır. Yoldan bağımsız bir sistemde değerli bir şey üretmeden, yalnızca alım-satım yaparak para kazanmak imkânsız olmalıdır. Bu tür faaliyetlere arbitraj adı verilir; temel finans kuramı etkin bir pazarda arbitrajın mümkün olmadığını söyler, çünkü her şey zaten tutarsızlıklara fırsat vermeyecek bir şekilde fiyatlandırılmıştır. Elinizdeki Dolarları satıp Yen, o Yenleri satıp Euro ve Euroları satıp tekrar Dolar alarak kâr edemezsiniz. Ne var ki koruma fonları ve yatırım bankaları döviz piyasalarında alım-satım yaparak servetler kazanmıştır. Elde ettikleri başarı etkin bir piyasada imkânsız olmalıdır ama bu durum iktisat kuramcılarını rahatsız etmiyor gibi görünmektedir.

Birkaç on yıl önce, o zamanlar Stanford Üniversitesi'ndeki en genç daimi profesör olan Brian Arthur, iktisadın yola bağımlı olduğunu iddia etmeye başladı.[4] Bu iddiası için getirdiği kanıt,

azalan verim kanunu olarak bilinen iktisadi görüşün her zaman doğru olmamasıydı. Bu kanun, bir şeyden ne kadar üretirseniz, sattığınız her kalemden o kadar az kâr edeceğinizi söyler. Bu ifade her zaman doğru değildir; buna örnek olarak, bir programın ilave kopyalarını üretmenin ve dağıtmanın neredeyse hiç maliyete yol açmadığı, dolayısıyla tüm maliyetlerin başlangıçtaki maliyetlerden ibaret olduğu yazılım sektörü gösterilebilir. Arthur'un çalışmaları aykırı bulundu. Gerçekten de azalan verim varsayımını çıkardığınızda, neoklasik iktisat modellerindeki bazı matematiksel kanıtlar dayanaksız kalır.

Pia Malaney, 1990'ların ortalarında Harvard'da bir yüksek lisans öğrencisiyken matematikçi Eric Weinstein ile birlikte iktisadın yola bağımlılığının matematiksel gösterimini buldu. Geometride ve fizikte yola bağımlı sistemleri incelemekte kullandığımız *ayar alanları* adında, iyi bilinen bir teknik vardır; bu alanlar, doğadaki tüm kuvvetlere ilişkin anlayışımızın matematiksel temelini oluşturur. Malaney ile Weinstein bu yöntemi iktisada uygulayarak onun da yola bağımlı olduğunu buldu. Gerçekten de yola bağımlılığı ölçen *eğrilik* adlı kolaylıkla hesaplayabildiğimiz bir nicelik vardır; Malaney ile Wienstein, fiyatların ve tüketici tercihlerinin değiştiği sıradan pazar modellerinde bu niceliğin sıfır olmadığını buldular. Dolayısıyla tıpkı Dünya ve uzay-zamanın geometrisi gibi, pazarları modelleyen matematiksel uzaylar da eğimlidir. Doktora tezinde, Malaney oluşturdukları modeli Tüketici Fiyat Endeksindeki artışlara uyguladı ve ekonomik modellerinde yola bağımlılığı dikkate almayan iktisatçıların bu değeri yanlış hesapladığını gösterdi.[5]

Malaney ile Weinstein'ın çalışması, akademisyenler tarafından dikkate alınmadı ama ayar kuramlarını pazarlara uygulamayı son derece doğal bulan bir grup fizikçi tarafından pazarların yola bağımlılığı daha sonra yeniden keşfedilmiştir.[6] Kaç koruma fonunun para kazanmak için eğriliği, yani neoklâsik iktisatta görülmediği iddia edilen yola bağımlılığı ölçerek arbitraj fırsatları keşfettiğini bilmek mümkün değil ama bu yöntemden yararlanıldığı şüphe götürmez.

Yola bağımlı bir pazar, zamanın gerçekten önemli olduğu bir pazardır. Peki, neoklâsik iktisat kuramı gerçek hayatta pazarların zamanla, değişen teknolojiler ve tercihler karşısında evrim geçirdikleri, sürekli olarak modellerinde yer almayan para kazanma fırsatları yarattıkları gerçeğini nasıl ele alır? Neoklâsik iktisadın zamana tepkisi, onu soyutlamak şeklindedir. Neoklâsik bir modelde, bir tüketici olarak sizi bir fayda fonksiyonu modeller. Bu, içinde yaşadığınız ekonomide satın alabileceğiniz tüm olası mal ve hizmet kombinasyonlarına bir sayı veren matematiksel bir fonksiyondur. Sonuçta devasa bir küme elde edilir. Ama durun bir dakika, bu ne de olsa matematik. Biz devam edelim. Fikir şudur: bir grup mal ve hizmet size ne kadar fayda sağlıyorsa onlardan o kadar çok almak istersiniz. Daha sonra modeller, alım gücünüz dâhilinde, fayda fonksiyonunuz ile ölçülen arzularınızı en iyi seviyeye çıkaran mal ve hizmet gruplarını satın aldığınızı varsayar.

Peki, bu arada zamana ne oldu? Mal ve hizmet listelerinin, tüm yaşamınız boyunca almak isteyebileceğiniz bütün mal ve hizmetleri içerdiği kabul edilir. Yani bütçe kısıtları, ömür boyu elde ettiğiniz kazancınız üzerinden hesaplanır. Bunun anlamsız olduğu açık; insanlar yıllar sonra neleri isteyeceklerini veya nelere ihtiyaç duyacaklarını ya da ömürleri boyunca gelirlerinin ne olacağını nasıl bilebilir ki? Modellerin bu gibi belirsizlikleri, yani kişinin yaşamı boyunca karşılaşabileceği öngörülemeyen sayısız beklenmedik durumu mal ve hizmetler listesine dâhil ederek ele alır. Yani herhangi bir zamanda ve ortaya çıkabilecek herhangi bir durumda, tüm olası mal ve hizmet gruplarının kesin bir fiyatı olduğu varsayılır, on yıllar sonra bile. Örneğin, yalnızca bir Ford Mustang'in değil, 2020 yılındaki bir Ford Mustang'in de her türlü beklenmedik olası durumda bir fiyatı vardır. Modeller sadece şimdi alabileceğimiz tüm mal ve hizmetlerin mükemmel bir denge durumunda fiyatlandırılmış olduğunu kabul etmekle de kalmaz, her mal ve hizmet grubuna ilişkin gelecekteki her türlü fiyatın da bütün beklenmedik olası durumlar dâhilinde mükemmel bir şekilde saptandığını varsayar. Üstelik söz konusu modeller beklenmedik olası durumların ve pozisyonların tümünü kapatmaya yetecek sa-

yıda ve farklı görüşlerde yatırımcı bulunduğunu da varsayarlar. Hâlbuki gerçek pazarlarda yapılan araştırmalarda, çoğu tüccarın az sayıda pozisyonu paylaştığı bulunmuştur.[7]

Neoklâsik iktisat modellerinin zamanı ve beklenmedik durumları soyutlamak için böylesine anlamsız uğraşlara girmesi, yalnızca zaman konusunun ne kadar merkezi olduğunu göstermektedir. Zamana yer vermeyen kuramların, kabul edilmese de güçlü bir cazibesi vardır. Belki de bunun nedeni, bu kuramların, kuramcılara gerçek doğadaki zamanın ve beklenmedik muhtemel durumların sönükleştiği, zaman dışı bir saf doğrular âleminde bulundukları hissini vermesidir.

Ortaya çıkabilecek çoğu beklenmedik muhtemel durumu öngörmenin imkânsız olduğu bir doğada yaşıyoruz. Ne siyasi şartları, ne buluşları, ne modayı, ne havayı ne de iklimi önceden tam olarak belirleyebiliyoruz. Gerçek doğada, karşılaşabileceğimiz tüm beklenmedik muhtemel durumları kapsayan soyut bir uzay üzerinde çalışma imkânımız yok. Hayali unsurlardan uzak, gerçek iktisat yapmak için zamanın gerçek olduğu ve geleceğin, ilkesel olarak bile olsa, önceden belirlenemediği bir kuramsal çerçeveye ihtiyacımız var. Geleceğimizi inşa etme gücümüzün tam kapsamı ancak böyle bir kuramsal bağlamda anlam kazanabilir.

Üstelik ekonomi ile ekolojiyi birleştirebilmek için bunları ortak bir temelde, yani zaman içerisinde evrim geçiren, yola bağımlı ve birçok denge noktasına sahip, geri besleme ile yönetilen, açık, karmaşık sistemler olarak kavramamız gerekir. Bu, burada kısaca özetlenen iktisat betimlemesine de iklimi biyosferin temel döngüleri tarafından yönlendirilen ve düzenlenen bir kimyasal tepkimeler ağının toplamı ve ifadesi olarak gören kuramsal ekoloji çerçevesine de uygundur.[8]



Geleceğe ilişkin yapıcı bir tartışma başlatmaya çalıştığımızda karşılaştığımız zorluklardan biri, günümüz kültürünü niteleyen anlaşılmazlıktır. Bilimin ön cephelerinden birindeki insanlar, di-

ğer cephelerde çalışanların neden bahsettiğini anlamakta sıkıntı çekmektedir. Tartışmalarımız silolara ayrılmıştır. Doğa bilimleri ile uğraşan çoğu bilim insanı, toplumsal kuramdaki son gelişmeler bir yana, biyoloji alanındaki yenilikler hakkında bile çok fazla bilgiye sahip değildir ve önde gelen sanatçıların birbirlerine sordukları sorular hakkında hiçbir fikirleri yoktur.

Eğer uygarlığımız gelişecekse, öncelikle karar verme süreçlerimizi doğa bilimleri ile sosyal bilimler arasında bilgi paylaşımına imkân veren tutarlı bir dünya görüşüne oturtmak faydalı olacaktır. Geleceği açık, temel fizik yasalarından ekonomilerin ve ekolojilerin örgütlenmesine kadar her ölçekte yeniliği mümkün gören bu bilgi paylaşımı zamanın gerçekliği temelinde oluşturulabilir.

Geçmişte doğa bilimlerinde atılan büyük kavramsal adımlar sosyal bilimlerde de yankılanmıştır. Newton'un mutlak zaman ve uzay fikrinin, çağdaşı John Locke tarafından geliştirilen siyaset kuramını önemli ölçüde etkilediği söylenir. Parçacıkların konumlarının birbirilerine göre değil de mutlak uzaya göre tanımlandığı düşüncesi, her yurttaşın sahip olduğu hakların değişmez, mutlak adalet ilkelerinden oluşan bir arka plana göre tanımlandığı düşüncesinde yansımasını bulmuştur.

Genel görelilik, fiziği tüm özelliklerin ilişkiler temelinde tanımlandığı ilişkisel bir uzay ve zaman kuramına taşıdı. Acaba bu değişiklik, toplumsal kuramda da benzer bir harekete yansımış mıdır? Ben yansıdığına ve Unger ile diğer bazı sosyal kuramcıların eserlerinde bu yansımayı görebileceğimize inanıyorum. Bu çalışmalar, sosyal bir sistemde aktörlere atfedilen tüm özelliklerin aslında aktörler arasındaki ilişkiler ve etkileşimlerden kaynaklandığını söyleyen ilişkisel felsefenin sonuçlarını sosyal kuram bağlamında inceler. Bir Leibniz kozmolojisindeki gibi, burada da harici zaman dışı kategoriler veya yasalar yoktur. Gelecek açıktır, çünkü sürekli benzeri görülmemiş sorunlar ve fırsatlarla karşılaşan bir toplumun ortaya atabileceği yeni düzenleme biçimlerinin sonu yoktur.

Bu yeni sosyal kuram, demokrasiyi yeni filizlenen çok etnikli ve çok kültürlü toplumların evrimini yönlendirebilecek küresel

bir siyasi düzen şekline sokmaya çalışır. Şekil değiştirmiş bu demokrasi, iklim değişikliğinin yarattığı küresel krizleri atlatmak için gerekli kararları alabilmelidir.

Yeni felsefenin ilişkisel bakış açısından demokrasinin nasıl göründüğüne ilişkin kendi görüşümü anlatayım. Aynı fikirlerin bilimin nasıl işlediğini de anlamamıza yardımcı olması dikkat çekicidir. Bu husus önemlidir, çünkü iklim değişikliğinin getirdiği zorluklar, bilim ile siyaset arasında bir etkileşimi zorunlu kılar.

Demokratik yönetim de bilim camiasının çalışma biçimi de insanoğluna ilişkin bazı temel gerçeklere uyum sağlayacak şekilde evrimleşmiştir. Zekiyiz ama bazı tipik kusurlarımız da var. Doğa içerisindeki durumumuzu tek bir yaşam boyunca inceleyebiliyor ve birçok yaşam süresince edinilen bilgileri toplayabiliyoruz. Ama evrim göz açıp kapayana kadar düşünme ve harekete geçme becerisi de vermiş. Bu, sık sık hata yaptığımız ve kendi kendimizi kandırdığımız anlamına geliyor. Hata yapmaya olan yatkınlığımızla mücadele edebilmek maksadıyla gelecek nesillere faydalı olmak adına başkaldıranlar ile muhafazakârlar arasındaki çatışmaların yaşandığı toplumlar geliştirdik. Geleceği bilmek hakikaten imkânsız ama torunlarımızın bizden çok daha fazlasını bileceğinden emin olabiliriz. Topluluklar ve toplumlar içerisinde çalışarak bireysel olarak başaracağımızdan çok daha fazlasını başarabiliriz; ancak ilerleme, bireylerin büyük riskler alarak buluş yapmalarını ve yeni fikirleri test etmelerini gerektirir.

Bilim camiası ile bunların içinden çıktığı daha geniş demokratik toplumlar, gösterdikleri ilerlemeyi çalışma biçimlerini yöneten iki temel ilkeye borçludur.[9]

(1) Halka açık delillere dayanan makul savlar bir tartışmayı karara bağlamak için yeterliyse, tartışmanın o savlar uyarınca karara bağlandığı kabul edilmelidir.

(2) Halka açık delillere dayanan makul savlar bir tartışmayı karara bağlamak için yeterli değilse, bilim camiası halka açık inandırıcı deliller ortaya koymaya yöne-

lik iyi niyetli çabalardan oluşan çok çeşitli görüşleri ve hipotezleri teşvik etmelidir.

Saydığım bu ilkelere *açık gelecek ilkeleri* diyorum. Bu ilkeler, Aydınlanma Çağı'nın yeni ve çoğulcu bir aşamasının (günümüzde ortaya çıkmakta olan bir aşamasının) temelini oluşturuyorlar. Kesinlik taşıdığında akıl yürütmenin gücüne, taşımadığında ise iyi niyetle bizden farklı düşünenlere saygı duyarız. İyi niyetli kişiler derken topluluk içindeki bu ilkeleri kabul eden insanları kastediyorum. Bu gibi topluluklarda, bilim ilerleyebilir ve biz de tam olarak bilinmesi mümkün olmayan bir gelecek hakkında akıllıca kararlar vermeye gayret edebiliriz.



Açık gelecek ilkelerine tam olarak uyulsa bile, bilimin yanıtlamayı en çok istediğimiz sorulara bir çözüm bulması pek muhtemel değildir.

Neden hiç var olmamak yerine bir şeyler var? Bu soru için delillere dayanan bir yanıt şöyle dursun, kabul edilebilir bir yanıt bile verilebileceğini zannetmiyorum. Bu noktada din bile yetersizdir, çünkü eğer yanıt "Tanrı" ise bu bir şeylerin, yani Tanrının hep var olduğu anlamına gelir. Ya da *eğer zamanın bir başlangıcı yoksa tüm olayların nedenleri geçmişte sonsuza kadar gider mi?* Var olan şeylerin bir ilk başlangıcı yok mudur? Bunlar gerçek sorulardır ve eğer bu soruların yanıtları varsa, bu yanıt muhtemelen daima bilimin sınırları dışında kalacaktır. Bir de bilimin şimdilik yanıtlayamadığı ancak manidar olduğu son derece açık olan, dolayısıyla bilimin gelecekte yanıtlamak için gereken dili, kavramları ve deneysel teknikleri geliştireceği umulan sorular vardır.

Gerçek ve doğru olan her şeyin art arda gelen anlardan bir an içinde gerçek ve doğru olduğunu öne sürdüm. Ama gerçek olan şey nedir? Bu anların ve onları birbirine bağlayan süreçlerin özünde ne vardır?

Evrenin matematiksel bir nesne ile özdeş ya da eş biçimli olmadığı konusunda hemfikiriz. Evrenin bir kopyası olmadığını da ileri sürdüm. Öyleyse evren hiçbir şeye "benzemez." Peki, evren nedir? Tüm benzetmeler yetersiz olsa ve tüm matematiksel modeller eksik kalsa da doğanın nelerden oluştuğunu bilmek istiyoruz. *Neye benzediğini* değil, *ne olduğunu* öğrenmek istiyoruz. Doğanın özü nedir? Maddenin basit ve atıl olduğunu kabul ediyoruz ama maddenin gerçekte ne olduğunu bilmiyoruz. Yalnızca maddenin nasıl etkileşime girdiğini biliyoruz. Bir kayanın varlığının özü nedir? Bu sorunun yanıtını bilmiyoruz; atomlar, atom çekirdekleri, kuarklar, vs. hakkında yaptığımız her keşifle biraz daha derinleşen bir gizem söz konusu.

Bu sorunun yanıtını bilmeyi çok isterdim. Bazen uyumaya çalışırken bir kayanın aslında ne olduğunu düşünür ve evrenin ne olduğu sorusunun bir yerlerde bir yanıtı olması gerektiği fikri ile kendimi avuturum. Ama bu yanıtı bilim aracılığıyla mı yoksa başka bir yoldan mı arayacağız, hiçbir fikrim yok. Bir şeyler uydurmak son derece kolay, kitaplıklar metafizik önerilerle dolu. Ama biz gerçek bilgi istiyoruz, bu da önerilen bir yanıtı doğrulamamızı sağlayacak bir yol anlamına geliyor. Bu şart, seçeneklerimizi bilim ile sınırlandırıyor. Doğa hakkında güvenilir bilgi edinmenin bilimden başka bir yolu varsa, bilim ahlâkını yaşamının merkezine yerleştirmiş biri olarak o yolu kullanmam pek olası değil.

Bilime gelince; geleceği öngöremeyiz (elinizdeki kitabın ana fikri bu) ama ilişkisel bakış açısı, bilimin bize, doğanın aslında ne olduğunu söyleyebileceğinden şüphe duymama yol açtı. Nedeni şu: ilişkisellik, fiziğin yalnızca ilişkilere ve etkileşimlere dair nicelikleri ölçebildiğini ve betimleyebildiğini öne sürer. Maddenin ya da doğanın özü hakkında sorular sorduğumuzda, bunların aslında ne olduklarını, ilişkileri ve etkileşimleri çıkardığımızda geriye ne kaldığını sormuş oluyoruz.[10] İlişkisel görüş, doğada ilişkiler ve etkileşimler tarafından betimlenen özellikler dışında bir gerçek olmadığını söyler. Bazen bu fikir bana çekici geliyor; diğer zamanlarda ise anlamsız. Söz konusu yaklaşım, nesnelerin aslında ne oldukları sorusunu güzelce ortadan kaldırıyor. Ama

aslında var olmayan iki şeyin bir ilişki ya da etkileşim içerisinde olduğunu söylemenin bir anlamı var mı?

Belki de varlık ilişkilerden ibarettir. Ama eğer öyleyse, bu durumun nasıl mümkün ya da zorunlu olduğuna ilişkin henüz kavramadığımız bir nokta olabilir mi?

Bunlar, benim yanıtlayamayacağım kadar derin sorular. Farklı bir eğitime ve mizaca sahip biri belki bu soruları yanıtlama konusunda ilerleme kaydedebilir, ben değil. Ama doğanın gerçekte ne olduğu sorusunu anlamsız bir soru diye göz ardı etmek de elimden gelmiyor. Bazı bilim savunucuları, ısrarla bilimin yanıt veremediği soruların anlamsız olduğunu söyler ama ben bu tutumun ikna edici olmayan, sevimsiz ve dar görüşlü bir tutum olduğu kanısındayım. Bilim, beni geleceğin açık, yeniliğin de gerçek olduğu sonucuna götürdü. Bilimi bir yönteme değil bir ahlâka bağlılık olarak gördüğüm için henüz kimsenin aklına gelmeyen bilimsel yöntemlerin mümkün olduğunu kabul etmem gerek.

Bu da bizi *asıl* zor soruna getiriyor: bilinç sorunu.

Bilinç hakkında birçok e-posta alıyorum. Çoğuna verdiğim yanıt, bilince ilişkin birçok gizem olduğu ama elimizdeki bilgiler ile bilimin bu gizemleri ele almasının mümkün olmadığı şeklinde. Bir fizikçi olarak bu konuda söyleyebileceğim bir şey yok.

Benimle bilinç sorunu hakkında konuşmasına izin verdiğim tek bir kişi var, o da James George adında çok sevgili bir dostum. Jim, Kanada'nın Hindistan ve Sri Lanka yüksek temsilciliği ve diğer ülkelerin yanı sıra Nepal, İran ve Körfez Ülkeleri büyükelçiliği görevlerinde bulunmuş emekli bir diplomat. Öğrendiğim kadarıyla, Pearson ve Trudeau'nun başbakanlıkları döneminde, Kanada barışı koruma fikrini dünyaya yayarken Kanada diplomasisinin savunucusu olarak büyük ün yapmış bir kişi. Şimdi doksanlarında; çevresel sorunların manevi temelleri üzerine kitaplar yazıyor ve bir çevre koruma vakfını yönetiminde çalışıyor.[11] Verdiği akıl dolu öğütler nedeniyle geniş dost çevresi ile tanıdıklarının çok saygı duyduğu birisi, ulaşmayı hayal bile edemediğim bir bilgelik seviyesine göre yaşayan tanıdığım ender insanlardan.

O yüzden Jim, "Fizikte zamanın anlamına ilişkin anlattıkların çok ilginç ama öne sürdüğün tüm düşüncelerin işaret ettiği kilit unsuru, yani bilincin evrendeki rolünü atlıyorsun" deyince, ona kulak veriyorum. Kulak veriyorum ama söyleyebileceğim fazla bir şey yok.

Fakat en azından neden bahsettiğini kabaca biliyorum. Bilinç sorunu derken neyi kastettiğimi açıklamama izin verin. Kendi durumunun farkında olan ya da kendi durumu hakkında düşünebilen bir bilgisayar programlayabilir miyiz, sorusunu kastetmiyorum. Sistemlerin kimyasal tepkime ağlarından evrim geçirerek–Stuart Kaufmann'ın kendi çıkarına kararlar alabilen sistemlerden bahsederken kullandığı bir terim olan "özerk aktörler" haline nasıl geldiği sorusunu da kastetmiyorum. Bunlar zor ama çözülebilir bilimsel sorular gibi görünüyorlar.

Bilinç sorunundan kastım şu: sizi, fizik ve biyoloji bilimlerinin bize sağladığı tüm dillerle betimlemeye çalışsam da bir şeyler eksik kalır. Beyniniz, her biri kontrollü kimyasal tepkime zincirleri sayesinde işleyen karmaşık birer sistem olan kabaca 100 milyar hücreden oluşmuş, devasa ve birçok iç bağlantıya sahip bir ağdır. Bu ağı ne kadar ayrıntılı betimlersem betimleyeyim, bir iç deneyime, bir bilinç akışına sahip olduğunuz gerçeğini açıklamaya yaklaşmam mümkün değil. Kendi deneyimlerim sayesinde bilinçli olduğumun farkında olmasaydım, sinirsel süreçlerinize ilişkin bilgilerim temelinde sizin bilinç sahibi olabileceğinizden emin olamazdım.

Elbette en gizemli olan husus bilincimizin içeriği değil, bilinçli olduğumuz *gerçeğidir*. Leibniz kendisini küçültüp birinin beyninde bir imalâthane (bugün olsa "fabrikada" derdik) gezermiş gibi dolaştığını hayal etmişti. Bir imalâthane söz konusu olduğunda, içerisinde dolaşan birinin gördüklerini betimlerseniz, imalâthaneyi de tam olarak betimlemiş olursunuz. Beyin içinse bunu yapamazsınız.

Beynin işleyişine dair fiziksel betimlemede bir şeylerin eksik olduğunu görmenin bir yolu, fiziksel betimlemenin yanıtlamadığı bazı soruları dikkate almaktır. Diyelim ki siz ve ben yan ma-

sada oturan kırmızı elbiseli kadına bakıyoruz. İkimizin de deneyimlediği duyum (kırmızı renge ilişkin duyumdan bahsediyorum) aynı mıdır? Sizin kırmızı olarak deneyimlediğiniz, benim mavi olarak deneyimlediğim duyumla aynı olabilir mi? Bunu nasıl bilebiliriz?

Morötesi ışınları da görebildiğinizi varsayalım. Yeni renkler neye benzerdi? Bu renklerin yarattığı saf duyum nasıl olurdu?

Renkleri ışığın dalga boyları ya da beyinde faaliyete geçen belirli nöronlar olarak betimlediğimizde eksik kalan, kırmızıyı algılama deneyiminin özüdür. Filozoflar bu öze bir isim vermiştir: *nitem*. Soru şudur: Gözlerimiz belirli bir dalga boyundaki fotonları soğurduğunda neden kırmızı nitemini algılarız? Buna, filozof David Chalmers *bilince ilişkin zor soru* adını vermiştir.

Aynı soru şöyle de sorulabilir: Beyninizdeki nöron devrelerini silikon çiplere aktardığımızı ve beyninizi bir bilgisayara yüklediğimizi varsayalım. Bu bilgisayar bilinçli midir? Nitemlere sahip midir? Düşüncelerimizi toparlamaya yardımcı olabilecek bir soru daha: Yukarıdaki işlemi kendinize zarar vermeden yapabildiğinizi varsayın. Şimdi sizin anılarınıza sahip ama o noktadan itibaren farklı gelecekleri olan iki bilinçli varlık mı ortaya çıkmış olur?

Nitem ya da bilinç sorununu bilimle çözüme kavuşturmak imkânsız gibi görünüyor, çünkü parçacıklar arasındaki tüm fiziksel etkileşimleri betimlediğimizde, doğanın bu yönü betimlemenin dışında kalır. Nitemler, doğanın nasıl modellenebileceğine ya da temsil edilebileceğine ilişkin sorular grubunda değil, gerçekte ne olduğuna ilişkin sorular grubunda yer alır.

Bazı filozoflar, nitemlerin aslında belirli nöronal süreçler ile özdeş olduğunu iddia eder. Bu iddianın yanlış olduğunu düşünüyorum. Nitemler ile nöronal süreçler arasında bir ilişki olması pekâlâ mümkün ama nitemler nöronal süreçlerle aynı şey değildir. Nöronal süreçler, fizik ve kimya tarafından betimlenebilir ama bu bağlamda yapılabilecek hiçbir betimleme, ne kadar ayrıntılı olursa olsun, nitemlerin neye benzediğine ilişkin soruları yanıtlamayacak veya onları neden öyle algıladığımızı açıklamayacaktır.

Nitemler ile beyin arasındaki ilişki konusunda, bizi bilinç ve nitem sorunlarını bilimsel sorular olarak ifade etmeye yakınlaştıracak daha birçok şey öğrenebileceğimizden şüphem yok. Bilinçli denekler üzerinde yapabileceğimiz deneyler, nöronal süreçlerin tam olarak hangi özelliklerinin ya da yönlerinin nitemlerle ilişkili olduğu hakkında bize birçok şey öğretebilir. Bunlar bilimin yöntemlerine uygun, bilimsel sorulardır.

Nitemlere ilişkin sorular, bilinci henüz bilimsel yöntemlerle inceleyemediğimiz, hakiki bir gizem hâline getirmiştir. İleride incelenebilir mi, bilmiyorum. Belki de biyoloji ve beyin hakkında çok daha fazla şey öğrendiğimizde, canlı ve düşünen hayvanları betimlemek için kullandığımız dilde devrimsel bir dönüşüm yaşanacaktır. Belki de bu devrimin ardından, bilince ve nitemlere ilişkin gizemleri bilimsel sorular şeklinde ifade etmemizi sağlayacak, şu anda hayal edemediğimiz kavramlara ve yeni bir dile sahip olabiliriz.

Bilinç sorunu, doğanın gerçekte ne olduğu hakkındaki sorunun bir parçasıdır. Bir kayanın, bir atomun ya da bir elektronun gerçekte ne olduğunu bilmiyoruz. Yalnızca bu cisimlerin diğer şeylerle nasıl etkileşime girdiklerini gözlemleyebiliyor ve bu sayede ilişkisel özelliklerini betimleyebiliyoruz. Belki de her şeyin dış ve iç yönleri vardır. Dış özellikler bilimin, etkileşimler aracılığıyla ve ilişkiler bağlamında betimleyebildiği özelliklerdir. İç özellikler ise bir şeyin kendi özdür; etkileşimler ve ilişkiler dilinde ifade edilemeyen gerçekliktir. Bilinç her ne ise beynin kendi özünün bir parçasıdır.

Bilincin bir diğer yönü, zaman içerisinde meydana gelmesidir. Gerçekten de doğada daima bir an içerisinde olduğumuzu iddia ederken, doğaya ilişkin deneyimlerimin daima zaman içerisinde meydana gelmesine dayanıyorum. Ama deneyimlerim derken neyi kastediyorum? Bilimsel olarak, deneyimlerimin birer bilgi kaydı örneği olduğunu söyleyebilirim. Böyle dersem bilinçten ya da nitemlerden bahsetmeme gerek kalmaz. Ama bu, bir yan çizme olarak görülebilir, çünkü bu deneyimlerin bazı yönleri, nitemlerin bilincinden oluşmaktadır. Yani gerçeğin şu an içe-

risinde gerçek olduğuna dair inancım, nitemlerin gerçek olduğu inancım ile ilişkilidir.

Bu son hususu ifade etmenin ve bu kitabın tüm savını bir çerçeveye oturtmanın bir yolu, natüralizm adı verilen felsefeye dayanır. Natüralizm, var olan tek şeyin bilim tarafından betimlenen doğa olduğunu söyleyen görüştür. Bu kitapta yer verilen savlardan, natüralist felsefenin, zamanın doğada oynadığı düşünülen role göre birbirinden ayrılan çok farklı iki modelinin bulunduğu açıkça anlaşılabilir. Ben burada, *zamana bağlı natüralizm* adı verilebilecek görüşü savundum; bu görüş uyarınca, var olan her şey zaman içerisinde art arda gelen anlardan bir an içerisinde var olur. Bu görüşün tam aksi, şu ana ve zamanın akışına ilişkin deneyimlerinin doğanın temel unsurları olmayıp birer yanılsama olduğunu söyleyen *zaman dışı natüralizm* adı verilebilecek görüştür. Zaman dışı natüralizm, doğanın aslında zaman dışı bir matematiksel nesneden ibaret olduğunu ve diğer her şeyin bu nesneden ortaya çıktığını ileri sürer.

Bu kitapta geliştirilen bakış açısına göre zaman dışı natüralizm görüşü, doğanın bir parçası olmayan, hayal gücümüzün yarattığı bir yapıyı alıp bunu doğanın yerine koyarak natüralizm terimini Alice'in yaptığı gibi, "aynanın içinden geçirmiştir". (Filozof Galen Strawson aynanın içinden geçirmek deyimini, felsefi tartışmalarda belirli bir fikri, o fikrin tam aksi olan görüşü savunmak için kullanan girişimleri betimlemekte kullanır.) Zamana bağlı natüralizme göre hiçbir şey zamanın dışında var olamaz; zaman dışı natüralizme göre var olan her şey zamanın dışındadır. Ben, zamana bağlı natüralizmin, Strawson ile Thomas Nagel'in umut ettiği ve nitemleri doğanın kendi parçası olarak kabul eden bir natüralizme daha iyi bir temel teşkil edeceği kanısındayım.



Bilim, insanoğlunun en büyük maceralarından birisidir. Bilginin gelişimi, insanlık öyküsünün belkemiğidir ve bu gelişime katkıda bulunma fırsatını yakalayan kişiler için de hayatımızın

merkezini oluşturur. Bilimin geleceği öngörülemez olsa da (aksi halde araştırma yapmaya gerek kalmazdı) kesinlikle emin olduğumuz tek şey ileride daha çok şey bileceğimizdir. Zira atomların kuantum durumlarından kozmosa kadar her ölçekte ve ilk evrende ortaya çıkıp bize doğru yaklaşan bir fotondan, insanların kişiliklerine ve insan toplumlarına kadar her karmaşıklık düzeyinde, kilit unsur zamandır ve gelecek de açıktır.

Teşekkür

Bu kitabı yazmak, zamanın doğasına duyduğum ömür boyu ilgiyi yansıtan büyük bir macera oldu. Her gezgin gibi ben de bu yolculukta bana destek veren, beni teşvik eden, bana yol gösteren ve bazen de önderlik eden birçok kişiye muazzam bir teşekkür borçluyum.

Macera, 1980 yılında başladı. Yaz aylarında Roger Penrose'un konuğu olarak Oxford'da çalışıyordum. Roger, gerçekten zamanın doğası konusunda kafa yormak istiyorsam Oxford yakınlarındaki bir köyde yaşayan ve çalışan Julian Barbour adında bir dostuyla konuşmam gerektiğini söyledi. Planlar yapıldı ve bilim filozofu Amelia Rachel-Cohn ile birlikte kendisini ziyarete gittik. Bu tartışmalar sırasında Julian, felsefe alanında bana rehberlik yapmaya başladı. Beni, Leibniz'in yazılarıyla ve ilişkisel uzay ve zaman fikirleri ile tanıştırdı. Julian'ın öğretileri sayesinde fikir değiştiren ve doğru yönde düşünmeye başlayan ilk genç fizikçiler arasındayım ama kesinlikle sonuncusu değilim.

Andrew Strominger'in 1986 yılında bana çok sayıda sicim kuramı keşfettiğini ve bu bolluk nedeniyle Parçacık Fiziği'nin Standart Modeli'ni salt ilkelere dayanarak türetme çabalarının boşa çıkacağından endişe duyduğunu söylemesiyle yolculuğum beklenmedik bir yola girdi. Bu konuda düşünürken, biyolojideki uyumluluk sahalarını andıran bir sicim kuramları sahası hayal ettim; saha içerisindeki yasaların evrimi, doğal seçilime benzer bir mekanizmanın kontrolü altında olacaktı. Zamansız ölümünden kısa süre önce sevgili dostum, doktor ve oyun yazarı Laura Kuckes'ın da cesaretlendirmesiyle, 1992'de yayımladığım ve ilk

kitabım *Evrenin Yaşamı*'nda betimlediğim kozmolojik doğal seçilim fikrini geliştirdim.

O kitabı bitirirken başka bir dostum, Drucilla Cornell, sosyal kuram hakkında yazdığı bir kitapta, kozmolojideki yasaların da evrim geçirdiğini savunan Brezilyalı düşünür Roberto Mangabeira Unger'in çalışmalarını okumamı tavsiye etti. Drucilla bizi tanıştırdı ve Roberto, Harvard'daki ofisinde yaptığımız heyecan verici bir sohbetin ardından, birlikte zamanın gerçekliğinin ve yasaların evriminin getirdiği sonuçları titizlikle inceleyen akademik bir kitap yazmayı önerdi. Son beş yıldır devam eden o proje, bu kitaptaki fikirlerin gelişmesini sağlayan temel itici gücü ve aracı oluşturmaktadır. Büyük oranda Roberto'nun net ve kışkırtıcı düşünce biçimi sayesinde, ben de sonunda zamanın gerçek olduğu yönündeki önerinin ne kadar radikal olduğunu takdir etmeye başladım. Sonsöz'ün temel fikri (geleceğin açık olması, insanlığı her ölçekteki sorunlara yeni çözümler bulmaya itmelidir düşüncesi) büyük ölçüde onun yazılarından ilham almaktadır. Burada üzerinden geçilen savların daha ayrıntılı ifadesini görmek isteyen okurlar, şimdilik *The Singular Universe and the Reality of Time* başlığını taşıyan, yakında yayımlanacak kitaba bakabilir.

Yine 1986'da, Abhay Ashtekar tarafından bir önceki yıl ortaya atılan genel görelilik yeni ifade biçimini kuantize etme konusunda çalışmaya başladım. Bu çalışma, Carlo Rovelli ile birlikte halka kuantum kütleçekimini keşfetmemiz ile sonuçlandı. Teknik çalışmalarımızı motive eden ve bir çerçeveye oturtan şey Abhay ve Carlo ile ve birçok başka kişinin yanı sıra Louis Crane, Ted Jacobson, Chris Isham, Laurent Freidel, João Magueijo, Fotini Markopoulou, Giovanni Amelino-Camelia, Jerzy Kowalski-Glikman ve Renate Loll ile zamanın doğası üzerine yaptığımız sürekli tartışmalar olmuştur. Aslında, kozmolojik ölçekte eşzamanlılığın göreliliğinden vazgeçmemiz gerektiğine çoğu arkadaşımdan daha sonra ikna oldum. Antony Valentini, bir gizli değişkenler kuramını benimsemenin bedelinin bu olduğunu yıllar önce fark etmişti ve João Magueijo da daha 1999 yılın-

da Londra'da tanıştığımızda göreliliğin ihlâline ilişkin kışkırtıcı düşüncelere sahipti. Ters problemin önemini ilk vurgulayan ve kuantum kütleçekimine ilişkin olarak zamanın temel olduğu ve uzayın ortaya çıktığı bir yaklaşımı şiddetle savunan ilk kişi Fotini Markopoulou olmuştur; yerelliğin düzeninin bozulması ve geometri oluşumu da dâhil olmak üzere, 15. Bölüm'deki ana fikirleri kendisine borçluyum.

Bir fizikçi olmama rağmen, bilim felsefesi evine sık sık konuk olma şansını yakaladım; orada zamanın doğasına ilişkin net bir düşünce üretme gayretlerimi yıllar boyu sabırla dinleyen ve eleştirel bir gözle okuyan birçok arkadaş edindim. Bunlar arasında Simon Saunders, Steve Weinstein, Harvey Brown, Patricia Marino, Jim Brown, Jenan Ismael, Cheryl Misak, Ian Hacking, Joseph Berkovitz ve Jeremy Butterfield ile fizik felsefesi alanındaki ilk öğretmenim Abner Shimony de bulunmaktadır. Julian Barbour, Jim Brown, Drucilla Cornell, Jenan Ismael, Roberto Mangabeira Unger ile Simon Saunders tüm taslağı okuyup çok önemli geri bildirimlerde bulunma nezaketini gösterdiler.

Sohbetleri ve taslak bölümler hakkında yaptıkları yorumlarıyla kozmolojik hususlardaki hatalarımı düzelten Sean Carroll, Matt Johnson, Paul Steinhardt, Neil Turok ve Alex Vilenkin'e müteşekkirim. Perimeter Enstitüsü'ndeki kuantum temelleri topluluğu, özellikle de Chris Fuchs, Lucien Hardy, Adrian Kent, Markus Müller, Rob Spekkens ve Antony Valentini ile aramdaki etkileşimlerin burada betimlenen kuantum temellerine ilişkin çalışmalarıma büyük faydası dokunmuştur.

Her zamanki gibi Saint Clair Cemin, Jaron Lanier ve Donna Moylan hayati desteklerini, ilk taslaklara dair önemli görüşlerini ve çok daha fazlasını esirgemediler.

Sonsöz'deki iklim değişikliği vurgusunun ilham ve bilgi kaynağı, Balsillie Uluslararası İlişkiler Okulu'ndan Thomas Homer-Dixon ile birlikte düzenlediğimiz siyaset biliminde eşik davranışları hakkında bir seminerdir. Bu konuda yürüttüğümüz tartışmalar ve yaptığımız işbirliği için Tad ile diğer katılımcılara, özellikle de Manjana Milkoreit ile Tatiana Barlyaeva'ya müteşekkirim.

Yine Sonsöz'de yansımasını bulan iktisat konusunda aldığım ders için Mayıs 2009'da Perimeter Enstitüsü'nde, Ekonomik Kriz ve İktisat Bilimi Açısından Doğurduğu Sonuçlar konulu konferansı düzenlememe yardımcı olanlara, ayrıca başta Brian Arthur, Mike Brown, Emanuel Derman, Doyne Farmer, Richard Freeman, Pia Malaney, Nassim Taleb ve Eric Weinstein olmak üzere konferansta ve sonrasında tanıştığım diğer kişilere teşekkür ederim.

Dostlukları, işbirlikleri ve kendini düzenleme hakkındaki görüşleri için Stu Kauffman ile Per Bak'a büyük teşekkür borçluyum.

Bana Perimeter Kuramsal Fizik Enstitüsü'nü kurma konusunda yardımcı olma onurunu ve eşsiz fırsatını verdikleri için Howard Burton ile Mike Lazaridis'e sonsuza kadar minnettarım; Neil Turok'a da atılımlarda ve keşiflerde bulunma çabalarımızı sürekli desteklediği için minnettarım. Perimeter Enstitüsü kadar ilham verici, çeşitlilik sahibi ve büyük arzuları destekleyen bir entelektüel yuva bulma konusunda tüm bilim insanları ve akademisyenlerin benim kadar şanslı olmasını diliyorum.

Fizik alanındaki çalışmalarım NSF, NSERC, Jesse Philips Vakfı, Fqxi ve Templeton Vakfı tarafından cömertlikle finanse edilmiştir; bana çalışmalarımı sürdürme ve ümit vadeden genç bilim insanlarına destek olarak rehberlik yapma fırsatı verdikleri için hepsine çok müteşekkirim.

Bu kitap, metnin tamamı ya da bir kısmına ilişkin geri bildirimde bulunan ilk okurlardan aldığım yorumlar sayesinde çok daha iyi bir hâle geldi. Yukarıda bahsettiklerimin dışında, bu okurlar arasında Jan Ambjørn, Brian Arthur, Krista Blake, Howard Burton, Marina Cortes, Emanuel Derman, Michael Duschenes, Laurent Freidel, James George, Dina Graser, Thomas Homer-Dixon, Sabine Hossenfelder, Tim Koslowski, Renate Loll, Fotini Markopoulou, Catherine Paleczny, Nathalie Quagliotto, Henry Reich, Carlo Rovelli, Pauline Smolin, Michael Smolin, Rita Tourkova, Antony Valentini, Natasha Waxman ve Ric Young da bulunmaktadır. İlk bölümlerde anlattığım hikâyedeki bazı tarihsel hataları fark eden David Topper'a çok teşekkürler.

Ben, yazdıklarının düzenlenmesinden son derece hoşnut olan yazarlardan biriyim, çünkü bunun büyük faydasını gördüğümü iyi biliyorum. Yayın dünyasının değişkenliği sayesinde, hiçbir kitabım bu kadar adanmış bir editör grubundan yararlanmamıştı. Kitap, tasarımını şimdi Crown Publishing'de çalışan Amanda Cook'un çabalarına borçludur; projeye duyduğu güven ile projenin daha net ve odaklanmış bir hâle gelmek için gerekli zamanı hak ettiğine olan inancı için de kendisine minnettarım. Houghton Mifflin Harcourt'tan Courtney Yound ve Sara Lippincott, sayısız yorumları ve önerileriyle bir yazarın arzu edebileceği en iyi editörler oldular. Kitapta, aynı zamanda, Knopf Canada'dan Louise Dennys'in bilgece görüşlerinden de çok yararlanıldı. Thomas Penn'in hayati anlarda verdiği destek benim için özellikle değerli. Şekillerin büyük kısmını hazırlayan Henry Reich'a da son derece müteşekkirim. Tüm kitaplarımda olduğu gibi, John Brockman, Katinka Matson ve Max Brockman'a büyük şükran borçluyum; onların inancı olmasaydı bu kitap asla mümkün olmazdı.

Sabır, zarafet ve sevgiye dayalı sorumlulukla sürekli verdiği dersler için Rodila Gregorio'ya ve zamana ilişkin burada tartışılmayan her şeyi bana öğreten Kai'ye teşekkürler. Sevgileri ve bana olan güvenleri için Pauline'e, Mike'a ve Lorna'ya teşekkürler. Son olarak, zaman hakkındaki bir kitabı zamanında bitirmeye çalışmanın getirdiği baskı altında beni sonsuz sevgisi ve sabrı ile ayakta tutan Dina'ya teşekkürlerimi kelimelerle ifade etmem mümkün değil.

Notlar

Önsöz

1. Bu kitap, Robert Mangabeira Unger ile işbirliği içerisinde yaptığımız, savları dikkatle düşünülmüş bir çalışmaya giriş ya da bu çalışmanın popüler hâle getirilmesi olarak görülebilir–söz konusu işbirliği, şimdilik *The Single Universe and the Reality of Time (Tek Evren ve Zamanın Gerçekliği)* başlığını taşıyan, zamanın gerçek olduğunu ve yasaların evrim geçirdiğini savunan ve *meta-yasa ikilemi* dediğimiz soruna ilişkin olası çözümleri inceleyen bir kitapla sonuçlanacaktır.
2. Burada ortaya konan savların daha önceki versiyonları, şu makalelerde ve aşağıdaki notlarda listelenen araştırma yayınlarında bulunabilir:
Lee Smolin, "A Perspective on the Landscape Problem," arXiv:1202.3373v1 [physics, hist-ph] (2012);
———, "The Unique Universe," *Phys. World*, 2 Haziran, 21-6 (2009);
———, "The Case for Background Independence," *The Structural Foundations of Quantum Gravity*, ed. Dean Rickles *ve ark.* (New York: Oxford University Press, 2007);
———, "The Present Moment in Quantum Cosmology: Challenges for the Argument for the Elimination of Time," *Time and the Instant*, ed. Robin Durie (Manchester, U.K.: Clinamen Press, 2000);
———, "Thinking in Time Versus Thinking Outside of Time," *This Will Make You Smarter*, ed. John Brockman (New York: Harper Perennial, 2012);
Stuart Kauffman & Lee Smolin, "A Possible Solution to the Problem of Time in Quantum Cosmology," arXiv:gr-qc/9703026v1 (1997).

Giriş

1. Bu görüş, aslında zamanın yanı sıra daha pek çok şeyin önemini azaltır, çünkü doğaya ilişkin deneyimlerimizin tüm yönlerini –renk, dokunma, müzik, duygular, karmaşık düşünceler– atomların yeniden düzenlenmesine indirger. Bu fikir, Demokritus ile Lucretius tarafından ortaya atılarak John Locke'ın "birincil ve ikincil nitelikler" kavramıyla biçimlenen ve o dönemden beri bilimde kaydedilen tüm ilerlemeler tarafından doğrulanmış gibi görünen atomcu dünya görüşünün merkezinde yer alır. Söz konusu görüş uyarınca gerçek olan harekettir. Yani çağdaş anlayışa göre, kuantum durumları arasındaki geçişlerdir. Diğer her şey bir ölçüde yanılsamadır. Amacım, büyük kısmı bilim tarafından son derece iyi desteklenen ve dolayısıyla doğru kabul edilmesi gereken bu bilgiye karşı çıkmak değil, yalnızca zamanın da bir yanılsama olduğunu iddia eden son adıma karşı çıkmak.
2. Bunun tek istisnası, 11. Bölüm'de daha ayrıntılı olarak göreceğimiz gibi, evrenimizin bir grup evrenin sıradan bir üyesi olmasıdır.
3. Bazı okurlar, hemen yasaların evrimini yönetecek başka yasaların şart olup olmadığını soracaktır. Bu soru, 19. Bölüm'de derinlemesine incelenen meta-yasa sorununa yol açar.

4. Charles Sanders Peirce, "The Architecture of Theories," *The Monist*, 1:2, 161–76 (1891).
5. Roberto Mangabeira Unger, *Social Theory: Its Situation and Its Task, Politics* cilt 2, (New York: Verso, 2004), s. 179-80.
6. Paul A. M. Dirac, "The Relation Between Mathematics and Physics," *Proc. Roy. Soc.* (Edinburgh) 59:122-29 (1939).
7. James Gleick, *Genius: the Life and Science of Richard Feynman* (New York: Pantheon, 1992), s. 93'te alıntılanmıştır.
8. "Richard Feynman–Take the World from another Point of View," *NOVA* (PBS, 1973). Transkript: http://calteches.library.caltech.edu/35/2/PointofView.htm.
9. Bu fikrin ilk yayımlanması: Lee Smolin, "Did the Universe Evolve?" *Class. Quantum. Grav.* 9; 173-91 (1992).
10. Dinamik, bu kitapta sık kullandığım bir sözcük. Yasaya tâbi olarak değişebilen anlamına gelir.

Düşmek

1. Bu durum, İslâm ve ortaçağ filozoflarının hareketin nedenlerini anlamaya yönelik ciddi çabalarına rağmen böyledir.
2. Matematikçiler eğriler, sayılar, vesaire için, bunlar bir tür mevcudiyete sahipmiş gibi, matematiksel "nesne" terimini kullanmayı tercih eder. Sırf dil aşinalığı nedeniyle radikal bir felsefi tutum benimsemek istemiyorsanız, bunlara kavram da diyebilirsiniz. Ben, matematikten bahsederken, nasıl bir varlıkları olduğuna ilişkin önyargılara uzak durmak amacıyla her iki sözcüğü de kullanacağım.
3. Matematikteki doğruların zamanın dışında olduğunu söylemek de *tam olarak* doğru sayılmaz, çünkü insanoğlu olarak bizim algılarımız ve düşüncelerimiz de zaman içerisindeki belirli anlarda ortaya çıkar ve zaman içerisinde düşündüğümüz şeylerden biri de matematiksel nesnelerdir. Kilit nokta şudur ki görünürde bu matematiksel nesnelerin zaman içerisinde kendi başlarına bir varlığı yoktur. Bunlar doğmaz, değişmez; sadece vardır.
4. Alain Connes gibi birçok başka büyük matematikçi de buna inanmaktadır. Bkz. Jean-Pierre Changeux & Alain Connes, *Conversations on Mind, Matter, and Mathematics*, ed.& çev. M. B. DeBevoise (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1998).

Zamanın Ortadan Kayboluşu

1. İnsan, bir fıskiyeden akan suyun parabolik bir yol izlediğini antik çağlarda kimsenin fark edip etmediğini merak ediyor. Fıskiyelerden akan suyun parabol gibi görünen yollar çizerek düştüğünü gösteren Yunan vazoları var, yani bir matematikçinin bunu gözlemleyip düşen cisimlerin genel olarak parabol izleyip izlemediğini merak etmiş olması hiç de imkânsız değil.
2. Aristoteles, *On the Heavens*, 1. Kitap, 3. Bölüm.
3. Müzik ile bilim arasında kariyer seçimi yapmak zorunda kalan birçok matematikçi ve fizikçi tanıyorum. İçlerinden biri, fizik alanına geçmeden önce çağdaş klasik müzik bestecisi olarak eğitim alan João Magueijo. Uçlarda yaşamayı seven biri olduğundan o zamandan beri bir piyanoya dokunmadığını söyler. Onu tanımak, Galileo'nun karakterini hayal edebilmemi sağlıyor.
4. Resim alıntısı: Peter Apian, *Cosmographia* (1539). Yeniden basım: Alexandre Koyre, *From the Closed World to the Infinite Universe* (Baltimore, MD; Johns Hopkins, 1957).
5. İspanyol-Şilili yönetmen Alejandro Amenábar'ın 2009 yılında çektiği *Agora*'da önerildiği gibi.
6. Newton, hareket yasalarının sonuçlarını *Matematiksel İlkeler*'inde sunarken çok daha önce bulduğu diferansiyel ve integral hesabı yerine daha temel bir matematik kullanmıştı. O tarihte henüz diferansiyel ve integral hesabını yayımlamamış olduğunu bilmiyorsanız bu size gizemli görünebilir; dolayısıyla keşiflerini okuyucuların bildiği

bir matematikle açıklaması gerekiyordu.

7. Dünya yüzeyinin yakınlarında düşmekte olan bir top düşünün. Bu top, Dünya'yı oluşturan her atomun kütleçekimi tarafından çekilmektedir. Newton'un kilit kavrayışlarından biri şudur: tüm bu kuvvetler birbirine eklenebilir ve Dünya'nın merkezinde topu çeken tek bir nesne varmış gibi bir sonuç ortaya çıkar. Eğer topu yukarı fırlatırsam bu mesafe bir iki metre kadar artabilir, bu da aslında çok az bir mesafe olduğundan kuvvet neredeyse hiç değişmez. Fırlatılan ya da düşürülen bir top üzerindeki kuvvetin sabit olduğu kabul edilebilir. Bu durum, ivmenin sabit olduğu anlamına gelir ki Galileo'nun büyük keşfi de buydu.

Top Yakalama Oyunu

1. Bazı okurlar, matematiğin zamanı kodlayabileceği itirazında bulunabilir–yani f(t) zamanın bir fonksiyonudur. Ama bu itirazı yapanlar önemli bir noktayı gözden kaçırır: f(t) fonksiyonunun kendisi zaman dışıdır.

Kutuda Fizik Yapmak

1. Sara Diamond *ve ark., CodeZebra Habituation Cage Performances* (Rotterdam: Dutch Electronic Arts Festival, 2003).
2. Bu konudaki tartışmalar için Saint Clair Cemin'e teşekkürler.
3. Karşılıklı kütleçekim kuvvetleri etkisinde hareket eden bir yıldız sistemini ele alalım. İki yıldızın etkileşimleri tam olarak betimlenebilir; Newton bu problemi çözmüştür. Ama üç yıldızın kütleçekimsel etkileşiminin betimlenmesine ilişkin problemin kesin bir çözümü yoktur. Üç ya da daha fazla cisimden oluşan sistemler yaklaşık olarak ele alınmalıdır. Bu tür sistemlerin davranış biçimleri, kaosu ve başlangıç koşullarına yüksek duyarlılığı da kapsayan çok geniş bir yelpazede gerçekleşir. Newton'un 17. yüzyılda çözdüğü iki yıldız probleminden sonraki en basit sistem olmalarına karşın, bu olgular ancak 20. yüzyılın başında, Fransız matematikçi Henri Poincaré tarafından keşfedilmiştir. Üç cisim sorunu adı verilen bu sorunu kavrayabilmek için yeni bir matematik dalı ortaya konulması gerekmiştir: kaos kuramı. Daha yakın dönemde, binlerce ya da milyonlarca cisimden oluşan sistemler, süper bilgisayarlarda yapılan simülasyonlarda incelenebilmektedir. Bunlar, gökadalardaki yıldızların davranışlarını, hatta gökada kümeleri içerisindeki gökadaların etkileşimlerini kavrayabilmemizi sağlamıştır. Ama elde edilen sonuçlar yararlı olsa da bunlar oldukça kaba tahminlere dayanır. Devasa sayıda atomdan oluşan yıldızlara nokta muamelesi yapılır ve genellikle sistem dışındaki her şey göz ardı edilir.

Yeniliğin ve Sürprizin Sürülmesi

1. Bu bölümlerde, daha temel yasaların aksine termodinamik yasalarının, örneğin, entropinin yalnızca artabileceğini söyleyen yasanın zamanda tersinir olmamasından kaynaklanan görünürdeki paradoksu ele alacak ve açıklayacağız.
2. Ludwig Boltzmann, *Lectures on Gas Theory* (Dover Publications, 2011).

Görelilik ve Zaman Dışılık

1. *The Principle of Relativity* (Dover Publications, 1952); Einstein'ın yedi, Hendrik Antoon Lorentz'in iki ve Hermann Weyl ile Hermann Minkowski'nin birer makalesinden oluşur.
2. "On the Electrodynamics of Moving Bodies," *Ann.* der Phys. 17(10): 891–921; "Does the Inertia of a Body Depend upon Its Energy Content?" *Ann. der Phys.* 18: 639-41 (1905).
3. Savların bu şekilde açıklanmasını görmek isteyen okurlar, www.timereborn.com sitesinde elektronik ortamdaki eklere bakabilir.
4. Kesin konuşmak gerekirse, ışık hızının bir hız sınırı olduğunu varsaymak şart değildir ama böyle düşünmek açıklamayı çok daha kolaylaştırır.
5. İki olayın gerçekte ya eşzamanlı olduğunu ya da olmadığını ama bu konuda asla kesin

bir bilgi sahibi olamayacağımızı söylemeye çalışmıyorum. Farklı gözlemciler iki olayın eşzamanlı olup olmadığı konusunda anlaşamayacağı için bu olayların eşzamanlı olduğunu ya da olmadığını söylemenin nesnel açıdan bir anlamı yoktur.

6. Bu, tüm saatlerin iki olay arasında aynı sayıda tıklayacağı anlamına gelmez. Hareket halindeki iki saatin, ikisi de on ikiyi gösterirken birbirilerinin yanından geçtiğini ve daha sonra uzaklaştıklarını düşünün. Biri ivmelensin ve geri dönsün, diğer saat tam 12:01'i gösterirken yeniden yanından geçsin. İvmelenen saat farklı bir zaman gösterecektir. Ama önemli olan şudur: tüm gözlemciler saatlerden birinin olaylar arasında kaç defa tıkladığı konusunda aynı fikirde olacaktır. İki olay arasında en fazla tıklayan saat, serbest düşüş halindeki saattir ve serbest düşüş halindeki bir saat tarafından ölçülen zamanı bu şekilde ayırt edebildiğimiz için buna asıl zaman diyoruz.

7. Hermann Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1949).

8. Eğer söz konusu uzay-zaman bölgesi uzay bakımından sınırlıysa, herhangi bir A'dan sebep-sonuç ilişkisi olarak A'nın geleceğinde bulunan herhangi bir B'ye arada birkaç X kullanarak bir dizi adımda ulaşabilirsiniz. Yani Minkowski uzay-zamanının sonsuz boyutları, savı tek seferde zarifçe ifade etmeye yardımcı olur ama şart değildir.

9. Hilary Putnam, "Time and Physical Geometry," *Jour. Phil.* 64: 240-47 (1967).

10. John Randolph Lucas, *The Future* (Oxford, U.K.: Blackwell, 1990) s. 8.

11. Uzayın tersine, uzay-zamandaki keseller en kısa yollar değil, kat etmesi en fazla asıl zaman alan yollardır. Bu durum, uzay-zaman geometrisinin ifade edilme biçiminden kaynaklanan bir tuhaflıktır; serbest düşüş halindeki bir saat, iki olay arasında seyahat eden diğer tüm saatlerden daha hızlı ve dolayısıyla daha sık tıklar. Fena bir tavsiye değil aslında: Genç kalmak istiyorsanız ivmelenin.

12. Bu özelliğin teknik ismi, *genel koordinat değişmezliğidir; difeomorfizm değişmezliği* adı verilen bir diğer özellikle yakından ilişkilidir. Newton mekaniğini de saat sistemin bir parçası olacak ve saati belirlemekte tam bir serbesti bulunacak şekilde ifade etmek mümkündür. Bu ifade biçimi, Julian Barbour tarafından Bruno Bertotti ile birlikte geliştirilmiştir. Newton paradigmasını ilişkisel bir hâle getirme yolunda biraz mesafe kaydeder ama hâlâ zaman dışı bir konfigürasyon uzayını etkileyen zaman dışı yasalara dayanır.

Kuantum Kozmolojisi ve Zamanın Sonu

1. Charles W. Misner, Kip S. Thorne & John Archibald Wheeler, *Gravitation* (San Francisco: W. H. Freeman, 1973).

2. Elektronik ortamdaki eklerde, kuantum kuramının farklı yorumları ve bunların kitapta yer verilen savlara ilişkin sonuçları hakkında daha fazla bilgi bulabilirsiniz.

3. Kuantum durumu, bu olasılıkları iki aşamalı bir süreç ile saptar. İlk aşamada, kuantum durumu her olası konfigürasyona bir sayı verilerek temsil edilebilir; buna, o konfigürasyonun *kuantum genliği* denir. İkinci aşamada, sistemin o konfigürasyonda bulunma olasılığını elde etmek için her konfigürasyona ilişkin genliğin karesini alırsınız. Peki, neden bu iki adım? Genlik kompleks bir sayıdır, yani sıradan iki reel sayının kombinasyonundan oluşur. Bu yapı, momentum gibi diğer niceliklere ilişkin olasılık dağılımlarının da aynı kuantum durumu içerisinde kodlanmasına izin verir.

4. Bu nedenle, eğer bir kuantum durumunun atomdaki elektronların çeşitli yerlerde bulunmasına ilişkin öngörülerini kontrol etmek isterseniz, birçok atomu o kuantum durumunda olacak şekilde hazırlar ve her atomdaki elektronların konumlarını ölçersiniz. Ölçümlerinizin toplamını aldığınızda deneysel bir olasılık dağılımı elde edersiniz. Deneysel olasılık ile kuantum durumundan hesaplanan kuramsal olasılığı karşılaştırabilirsiniz. Eğer iki olasılık makul bir hata payı dâhilinde uyuşuyorsa, sistemin belirli bir kuantum durumunda bulunduğuna dair başlangıçtaki iddiayı kanıtlamış olursunuz.

5. Bu doğru orantının sabiti, bir enerji kuantumunun değerini gösteren ve ismini kâşifi Max Planck'dan alan ünlü Planck sabiti *h*'dir.

6. Genişleyen evrenlere karşılık gelen kozmolojik kuantum durumlarını gösteren yakla-

şık betimlemeler bulunmaktadır, ancak bunlar başlangıç koşullarının son derece hassas bir şekilde seçilmesini gerektirir. Genel bir kozmolojik kuantum durumunda, genişleyen ve daralan evrenler üst üste binmiştir. Ayrıca kuantum kozmolojisinden zamanın çıkartılmasını destekleyen tek savın bu olmadığını da belirtmem gerekir ama bizim amaçlarımız doğrultusunda bu yeterlidir. Kuantum kütleçekimine ilişkin yola bağımlı yaklaşımlar bağlamında başka savlar da sunulmuştur; ayrıca Connes ile Rovelli zamanın, evrenin sonlu bir sıcaklığa sahip olmasının bir sonucu olarak ortaya çıktığını ileri sürer.

7. Bir başka sorun, kuantum mekaniğinde gözlemlenebilen tüm özelliklerin her zaman kesin değerlere sahip olmamasından kaynaklanır. Dolayısıyla bir sistemin tüm kuantum durumları, sistemin enerjisine dair kesin değerler içermez ama bazıları içerir. Bu kesin enerji durumlarının kesin bir frekans ile titreştiği anlaşılmıştır. Aslında tüm yaptıkları bundan ibarettir; oldukları yerde sistemin enerjisiyle orantılı bir frekansta titreşirler.
Birçok sistem için kesin enerjiye sahip birbirinden ayrık bir grup durum bulunur. Bu sistemlerin enerjilerinin kuantize olduğunu söyleriz. Ama çoğu kuantum durumunun kesin enerji değerleri yoktur; böyle bir durumda, sistemin sahip olabileceği farklı enerjilere ilişkin olasılıklar vardır. Bu durumlardaki sistemler kesin frekans değerlerinden de yoksundur.
Bir kuantum siteminin olduğu yerde salınmaktan fazlasını yapmasını istiyorsanız, sistemi kesin bir enerji değeri olmayan bir duruma getirmeniz gerekir. Üst üste binme ilkesi adı verilen ve kuantum durumlarını birbirinin üstüne eklemenin mümkün olduğunu söyleyen bir ilke sayesinde bu, kolaylıkla yapılabilir. Söz konusu ilke, kuantum sisteminin dalga özelliklerinin bir parçasıdır: Bir gitar ya da piyano teli aynı anda birkaç frekansta titreşir ve telin hareketi, tüm frekanslardaki salınımların toplamından oluşur. Bir kova suya iki taş atın: Her taş bir dalga yaratır ve bu dalgalar karşılaştığında suda oluşan örüntü, her dalganın kendi başına oluşturduğu örüntülerin toplamıdır. Üst üste binme ilkesi de böyle işler; herhangi iki kuantum durumunu üst üste toplayarak üçüncü bir durum elde edebilirsiniz.
Kuantum durumlarının bu şekilde toplanabilmesi, Newton fiziğinin kuantum mekaniğine yaklaşan bir model olduğunu söyleyen savımızın da temelini oluşturur. Newton fiziğindeki parçacıklar uzayda hareket ettikçe konfigürasyonların değişmesi özelliğini üretebilmek için bu ilkeye ihtiyacımız vardır. Bu özelliği kesin enerjiye sahip durumlar gibi yalnızca zaman içerisinde salınan durumlardan çıkarsamak mümkün değildir. Hareketi üretmek için daha karmaşık biçimde davranan durumlar gerekir, o da kesin olmayan enerji değerlerine sahip durumlar anlamına gelir. Böyle durumlar, farklı enerjilerdeki durumların toplanması ya da üst üste bindirilmesiyle elde edilir.
Ancak kuantum kozmolojisinde tüm durumlar aynı enerjiye sahiptir, bu yüzden her zamanki kuantum fiziğinden sıradan hareket üretme yöntemi işe yaramaz. Evrenin kuantum durumundan, genel göreliliğin öngörülerini çıkarmamız mümkün değildir.

8. Abhay Ashtekar, "New Variables for Classical and Quantum Gravity," *Phys. Rev. Lett.* 57:18, 2244-47 (1986).

9. Ted Jacobson & Lee Smolin, "Nonperturbative Quantum Geometries," *Nucl. Phys. B.*, 299:2, 295-345 (1988).

10. Carlo Rovelli & Lee Smolin, "Knot Theory and Quantum Gravity," *Phys. Rev. Lett.* 61:10,1155-58 (1988).

11. Thomas Thiemann, "Quantum Spin Dynamics (QSD): II. The Kernel of the Wheeler-DeWitt Constraint Operator," *Class. Quantum Grav.* 15, 875-905 (1998).

12. Yakın dönemde geliştirilen kuantum kozmoloji modelleri, 6. Bölüm'de tartıştıklarımıza benzer basitleştirilmiş kozmolojik modellerin kuantum versiyonlarını inceler. Bunlar, halka-kuantum-kozmolojisi modelleri olarak bilinir. Önceki kuantum kozmoloji modelleri, temel konuları bulandıran kaba tahminlerle incelenmişti; daha yeni modeller, bu denklemlerin tam çözümlerini hesaplamaya yetecek kadar basittir ve kesin tanımlanmıştır. Bu oldukça etkileyicidir ama bunların son derece basit modeller oldukları da vurgulanmalıdır. Özellikle de bu modellerde zamandan değil de farklı gözle-

nebilir niceliklerin değerleri arasındaki karşılıklı ilişkiden bahsetmek suretiyle zaman sorununu ele almaktan kaçınıldığını belirtmek gerekir. Bir alan, diğer alanlardaki değişiklikleri ölçerken saat olarak kullanılır. Bu yöntem, zaman dışı bir doğa betimlemesinden zamanın çıkarılmasına yönelik yaklaşık ve ilişkisel bir yaklaşım oluşturur. Üstelik sorunlar halka kuantum kütleçekimi veya halka kuantum kozmolojisi bağlamlarında özellikle aciliyet taşısalar da sadece onlarla sınırlı değildir. Kapalı bir kozmolojik bağlama uygulanabilmesi halinde, sicim kuramı da Wheeler-DeWitt denklemine benzer bir denkleme sahiptir. Sonsuz evrenler, sonsuz şişme ve benzeri konulardaki spekülasyonların bir kısmı da Wheeler-DeWitt denklemleri bağlamında yer alır. Sonuçta ortaya çıkan zaman dışı evreni yorumlama sorunları, birleştirme ya da çok erken evren hakkında kafa yoran tüm kuramcıların karşısına bir zorluk olarak çıkmaktadır.

Perde Arası: Einstein'ın Hoşnutsuzluğu

1. Jim Brown, bana Carnap'ın birincil ve ikincil nicelikler arasındaki ayrım gibi bir şeyden bahsettiğini söyledi. Kırmızı rengi deneyimleriz ama aslında olan şey atomların titreşerek belli bir frekansta ışık saçmasıdır. Zamanın geçtiğini deneyimleriz ama asıl gerçek, bir blok evren içinde algılama ve anı biriktirme yeteneğine sahip bir grup dünya çizgisinden ibaret olduğumuzdur. Bence, bu yaklaşım yalnızca sorunu dile getirmekle kalıyor, herhangi bir çözüme ulaştırmıyor.
2. *The Philosophy of Rudolf Carnap: Intellectual Autobiography,* ed. Paul Arthur Schillp (La Salle, IL: Open Court, 1963) s. 37-8.

Kozmolojik Yanılgı

1. Carlo Rovelli, *The First Scientist: Anaximander and His Legacy* (Yardley, PA: Westholme Publishing, 2011).
2. Andrew Strominger, "Superstrings with Torsion," *Nucl.* Phys. B 274:2, 253-84 (1986).
3. İkilem, bizi hiçbirini kabul edemeyeceğimiz iki sonuç arasında seçim yapmaya zorlayan bir savdır.
4. Genel görelilikte kozmolojik modeller oluştururken, Einstein denklemlerini tüm evrene uyguladığımız şeklinde bir itirazda bulunulabilir. Ama öyle yapmıyoruz. Yaptığımız, evrenin eğrilik yarıçapından oluşan bir alt sisteme Einstein'ın denklemlerinin bir kesitini uygulamak. Küçük boyuttaki her şey (gözlemciler olarak biz de dâhil) modellenen sistemden çıkartılır.
5. Örneğin, Standart Model'e son derece yüksek kütleli parçacıklar ekleyerek modeli iyileştirebiliriz; tarihinin büyük kısmı boyunca böyle bir şeyin evren üzerinde hemen hiçbir etkisi olmayacaktır.

Kozmolojik Meydan Okuma

1. Diğer sabit arka plan yapıları arasında kuantum durumlarını içinde barındıran uzayların geometrileri; olasılıkları tanımlamakta kullanılan bu uzaylardaki uzaklık kavramı ve Standart Model'deki serbestlik derecelerini içinde barındıran uzayların geometrileri sayılabilir. Genel görelilikte kullanılan arka plan yapıları arasında uzay-zamanın diferansiyel yapısı ve sıklıkla da asimptotik sınırların geometrisi sayılabilir.
2. *Arka plana bağımlı ve arka plandan bağımsız* terimleri, kuantum kütleçekimine ilişkin tartışmalarda daha dar bir anlamda kullanılır; o bağlamda, arka plana bağımlı bir kuram, klasik uzay-zamandan oluşan sabit bir arka plan varsayan kuramlardır. Tedirgilemeye dayalı kuantum genel görelilik ve tedirgilemeye dayalı sicim kuramı gibi tedirgileme kuramları arka plana bağımlıdır. Arka plandan bağımsız kuantum kütleçekimi kuramları arasında, halka kuantum kütleçekimi, nedensel kümeler, nedensel dinamik üçgenlemeler ve kuantum grafiği sayılabilir.
3. Amit P. S. Yadav & Benjamin Wandelt, "Detection of Primordial Non-Gaussianity (fNL) in the WMAP 3-Year Data at Above 99.5% Confidence," arXiv:0712.1148 [astro-ph], PRL100,181301, 2008.

4. Xingang Chen *ve ark.,* "Observational Signatures and Non-Gaussianities of General Single Field Inflation," arXiv:hep-th/0605045v4 (2008); Clifford Cheung *ve ark.*, "The Effective Field Theory of Inflation," arXiv.org/abs/0709.0293v2 [hep-th] (2008); R. Holman & Andrew J. Tolley, "Enhanced Non-Gaussianity from Excited Initial States," arXiv:0710.1302v2 (2008).
5. Bu, en azından belirli model sınıfları için başlangıç koşullarının KMF üzerindeki etkilerini şişme kuramında yapılan değişikliklerden hiçbir şekilde ayırt edemeyeceğimiz anlamına gelmez. Bkz., Ivan Agullo, Jose Navarro-Salas, Leonard Parker, arXiv:1112.1581v2. Bu konu hakkında yaptığımız tartışmalar için Matthew Johnson'a çok teşekkürler.
6. Evrenin eşsiz olması, erken evrene ilişkin kuramları test etmeye yönelik diğer girişimleri de zora sokar. Olağan laboratuvar fiziğinde daima verilerdeki istatistiksel belirsizliklerden kaynaklanan gürültü sorunuyla uğraşmamız gerekir. Genellikle bu sorun birçok ölçüm yapmak suretiyle çözülebilir, çünkü daha çok denemenin ortalaması alındığında rastlantısal gürültünün etkileri azalır. Evren ise yalnızca bir kez oluştuğu için bazı kozmolojik gözlemlerde bu yöntemden yararlanmak imkânsızdır. Bu istatistiksel belirsizlikler *kozmik değişke* olarak bilinir.
7. Lee Smolin, "The Thermodynamics of Gravitational Radiation," *Gen. Rel. & Grav.* 16:3, 205-10 (1984); "On the Intrinsic Entropy of the Gravitational Field," *Gen. Rel. & Grav.* 17:5, 417-37 (1985).
8. Belki de sonumuz, içinde yaşadığımız yalancı vakumun bozulmasıyla, bir faz geçişi şeklinde olacaktır. Örneğin, bkz. Sidney Coleman & Frank de Luccia, "Gravitational Effects on and of Vacuum Decay," *Phys. Rev. D* 21:12, 3305-15 (1980).
9. Sözü gelmişken, düşen cisimlerin neden bir parabol izlediği de böylece açıklanabilir; paraboller, tanımlarında yalnızca iki parça veriye ihtiyaç duyulduğu için son derece basit olan denklemleri sağlarlar. Gerekli olan veriler kütleçekiminden kaynaklanan ivme ile hareketin başlangıçtaki hızı ve yönünden ibarettir.

Yeni Bir Kozmolojinin İlkeleri

1. Burada Georgia Tech Üniversitesi'nde onursal profesör ve çağdaş fiziğin bilgelerinden biri olan David Finkelstein'ın önerisine uyacağım. Kendisi, bir keresinde bana fizikte ihtiyaç duyduğumuz kavramsal sıçramayı yapabilmek için gerekli hıza, fiziğin son dört yüz yıldaki tarihini düşünerek erişebileceğimizi söylemişti.
2. Bir simetri ile bir ayar simetrisini birbirine karıştırmayın. İlki, yasaları değişmeden bırakan fiziksel dönüşümlere ilişkindir. İkincisi ise bir sistemin konfigürasyonuna ilişkin betimlemenin matematiksel olarak yeniden yazılmasıdır. Burada öne sürdüğüm sav, ilkini kabul etmez ama ikincisini eder.
3. E. Noether, "Invariante Variationsprobleme," *Nachr. v. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen*, s. 235-57 (1918).
4. Kapalı bir evrene uygulandığında ne simetrilere ne de korunum yasalarına yer veren genel görelilik kuramı kapsamında bu genel akıl yürütme doğrulanmıştır.
5. Roger Penrose bunu uzun bir zaman önce öne sürmüştü. Aslında sicim kuramı örneği de bir kuram ne kadar fazla simetriye sahipse o kuramın açıklayıcı gücünün de o kadar az olacağını göstermektedir.
6. Peirce'ın vardığı sonuçta kesin olmayan tek şey evrim derken neyi kast ettiğidir. Araştırmacılar, Darwin'in doğal seçilimi gibi bir şeyden bahsettiğini iddia etmiştir. Peirce'ın Darwin'den oldukça etkilendiği bilinir. Ama tek başına metni dikkate aldığımızda, varsayabileceğimiz tek şey evrim kelimesini dinamik bir süreç uyarınca zaman içerisinde görülen değişim şeklindeki genel anlamıyla kullandığıdır. Bu kadarı, *Neden bu yasalar?* sorusunu sadece zaman gerçekse bilimsel olarak açıklayabileceğimizi göstermeyi amaçlayan şu anki savımız için yeterlidir.
7. Roberto Mangabeira Unger, taslak metin.

Yasaların Evrimi

1. Lee Smolin, "Did the Universe Evolve?" *Class. Quant. Grav.* 9:173-91 (1992).
2. Alex Vilenkin, "Birth of Inflationary Universes," *Phys. Rev. D*, 27:12, 2848-55 (1983); Andrei Linde, "Eternally Existing Self-Reproducing Chaotic Inflationary Universe," *Phys. Lett. B*, 175:4, 395-400 (1986).
3. Kozmolojik doğal seçilime ilişkin birçok eleştiri yayımlanmış ve bildiğim kadarıyla bunların tamamı *Evrenin Yaşamı*'na ait eklerde ve daha sonraki makalelerde yanıtlanmıştır. Eleştiriler için bkz. T. Rothman ve G. F. R. Ellis, "Smolin's Natural Selection Hypothesis," *Q. Jour. Roy. Astr. Soc.* 34, 201-12 (1993); Alex Vilenkin, "On Cosmic Natural Selection," arXiv:hep-th/0610051v2 (2006); Edward R. Harrison, "The Natural Selection of Universes Containing Intelligent Life," *Q. Jour. Roy. Astr. Soc.* 36, 193-203 (1995); Joseph Silk, "Holistic Cosmology," *Science*, 277:5326, 644 (1997); ve John D. Barrow, "Varying G and Other Constants," arXiv:gr-qc/9711084v1 (1997). Özellikle Newton sabitini değiştirerek (diğer tüm parametreler sabitken) kara deliklerin sayısının artırılabileceğini söyleyen kolay bir sav olduğu iddiası yanlıştır, çünkü bu değişikliğin gökada ve yıldız oluşumu ile yıldız evrimi üzerindeki karmaşık etkileri göz ardı edilmektedir.
4. Biyolojik evrimde aslında iki saha vardır: olası genotipleri (DNA dizilimlerini) betimleyen genler sahası ile genlerin fiziksel ifadelerini oluşturan fenotipler sahası. Doğal seçilimin fiziğe uygulanmasında da iki betimleme seviyesi bulunur. Bir evrenin çoğalma olasılığı, Standart Model'deki parametrelerin değerlerine bağlıdır. Bunlar, fenotiplere benzer. Ama sicim kuramı gibi temel kuramlarda, Standart Model yaklaşık bir betimlemeden ibarettir; altında farklı kuram seçenekleri bulunur. Bunlar da genotiplere benzer. Biyolojik evrimde, genotip ile fenotip arasındaki ilişki karmaşık ve dolaylı olabilir, aynısı fizik için de geçerlidir. Dolayısıyla dikkati elden bırakmamak adına, sicim kuramı gibi bir temel kuram önerisindeki saha ile Standart Model'deki parametreler sahasını birbirine karıştırmamanız gerekir.
5. Diğerleri şunlardır: (1) proton/nötron kütle farkının işaretinin ters çevrilmesi; (2) Fermi sabitinde süpernovaların yaydığı enerji ve maddeyi etkilemeye yetecek büyüklükte bir artma ya da azalma; (3) nötron/proton kütle farkında, elektronun kütlesinde, elektron/nötrino kütlesinde ve ince yapı sabitinde bir artış ya da güçlü etkileşimin oluşturduğu bağda karbonun kararsız hale gelmesine yetecek bir azalma (ya da aynı etkiye sahip eşzamanlı başka bir değişiklik) ve (4) garip kuarkın kütlesinde bir artış.
6. James M. Lattimer & M. Prakash, "What a Two Solar Mass Neutron Star Really Means," arXiv:1012.3208v1 [astro-ph.SR] (2010).
7. Kozmolojik doğal seçilim hakkındaki orijinal makalemde de *Evrenin Yaşamı* adlı kitabımda da kritik kütle için daha düşük olan tahmini, yani 1,6 Güneş kütlesini kullandım. Güneş'in iki katı kütleye sahip bir nötron yıldızına ilişkin gözlemlerin haberini aldığımda kozmolojik doğal seçilimin çürütüldüğüne dair bir makale yazmaya başladım. Bu fırsatı heyecanla bekliyordum, çünkü kuantum kütleçekimi alanında olabilecek ikinci en iyi şey deneyler tarafından çürütülen bir öngörüde bulunmaktır. Ne var ki kritik kütleye ilişkin kuramsal tahminleri yeniden incelediğimde, uzmanların bu tahminler kapsamında 2 Güneş kütlesine sahip bir kaon-nötron yıldızının mümkün olduğuna dikkat çektiğini gördüm.
8. Bkz. A. D. Linde, *Particle Physics and Inflationary Cosmology* (Chur, Switzerland: Harwood, 1990), s. 162-8, özellikle de denklem 8.3.17 ile sonuçlanan tartışma. (Kitaba, arXiv:hep-th/0503203v1 adresinden de ulaşabilirsiniz.) Yoğunluk dalgalanmalarını artırabilecek olan parametre, inflatonun (şişme kuvvetini taşıyan parçacık) etkileşim kuvvetidir. Linde'nin de gösterdiği gibi, bazı basit modellerde bu parametreyi artırmak, evrenin boyutunu o etkileşim parametresinin karekökünün tersinin üstel fonksiyonu oranında azaltır. Bu konuyu açıklığa kavuşturan sohbetimiz için Paul Steinhardt'a çok teşekkürler.
9. Kozmolojik doğal seçilim hakkında daha fazla ayrıntı için *Evrenin Yaşamı*'na ya da şu makalelerime bkz., "The Fate of Black Hole Singularities and the Parameters of

the Standard Models of Particle Physics and Cosmology," arXiv:gr-qc/9404011v1 (1994); "Using Neutrons Stars and Primordial Black Holes to Test Theories of Quantum Gravity," arXiv:astro-ph/9712189V2 (1998); "Cosmological Natural Selection as the Explanation for the Complexity of the Universe," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 340:4, 705-13 (2004); "Scientific Alternatives to the Anthropic Principle," arXiv:hep-th/0407213v3 (2004); "The Status of Cosmological Natural Selection," arXiv:hep-th/0612185v1 (2006); ve "A Perspective on the Landscape Problem," *Foundations of Physics* "Forty Years Of String Theory: Reflecting On the Foundations" başlıklı özel bir sayısı için davet üzerine hazırlanan katkı, DOI: 10.1007/S10701-012- 9652-x arXiv:1202.3373.

10. Roger Penrose, bana kara delik tekilliklerinin, başlangıçtaki kozmolojik tekillikten çok farklı bir geometrisi olduğunu, o nedenle bir kara deliğin bizim evrenimize ya da başka bir evrene yol açmasının muhtemel olmadığını söyleyerek itiraz etmişti. Bu üzerinde durulması gereken bir konudur ama eğer kuantum etkileri tekilliğin ortadan kalkmasında büyük bir rol oynuyorsa çözülmesi mümkündür.

11. Evrim geçiren yasa fikrinin tek başına evrensel eşzamanlılığa ihtiyaç duymadığına dikkatinizi çekerim. Bir olayda meydana gelen yasa değişikliği, yalnızca o olayın sebep-sonuç açısından geleceğindeki olayları etkileyebilir. 6. Bölüm'de de açıklandığı gibi, sebep-sonuç sıralaması eşzamanlılığın göreliliği ile uyumludur. Ama kozmolojik doğal seçilim, anlamlı olabilmek için erensel zamana ihtiyaç duyar. Bu ise eşzamanlılığın göreliliğine gerçekten aykırıdır.

12. Bunun gerekçesi şöyle açıklanabilir: genellikle, kabarcıkları oluşturan fiziğin ölçeği olarak Standart Model'deki kuarkların ve leptonların kütlesinin en az 15 basamak üzerindeki büyük birleşme ölçeği kabul edilir. Bu nedenle, karşılaştığımız bu hafif fermiyon kütlelerinin, kabarcık evrenlerin oluşumu sırasında, temelde gelişigüzel bir şekilde seçilmiş olmaları muhtemeldir.

13. B. J. Carr & M. J. Rees, "The Anthropic Principle and the Structure of the Physical World," *Nature* 278: 605-12 (1979); John D. Barrow & Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle* (New York: Oxford University Press, 1986).

14. Shamit Kachru *ve ark.*, "De Sitter Vacua in String Theory," arXiv:hep-th/0301240 v2 (2003).

15. Oliver DeWolfe *ve ark.*, "Type IIA Moduli Stabilization," arXiv:hep-th/0505160v3 (2005); Jessie Shelton, Washington Taylor & Brian Wecht, "Generalized Flux Vacua," arXiv:hep-th/0607015 (2006).

16. George F. R. Ellis & Lee Smolin, "The Weak Anthropic Principle and the Landscape of String Theory," arXiv:0901.2414v1 [hep-th] (2009).

17. Washington Taylor tarafından betimlenen negatif kozmolojik sabite sahip evrenler, iki açıdan bizim evrenimizden farklıdır. İlk olarak, tüm sicim kuramlarında olduğu gibi, ilâve boyutlar söz konusudur. Bu boyutlar küçük ve dertop olduklarından gözlenemezler ama Taylor'ın evrenlerinde daha büyük olabilirler. Bu durum, kozmolojik sabitin negatif olmasından çok daha bariz bir şekilde gözlemlere aykırıdır ve sicim kuramının bir başka yanlış öngörüsü olarak kabul edilebilir. Ancak bu dünyalarda yaşamın ortaya çıkamayacağını da öne sürebilirsiniz. Bunun nedenini tam olarak anlayabilmiş değilim, çünkü parçacıkların ve kuvvetlerin ilave boyutlar içinde yüzen, "zar" adlı üç boyutlu yüzeyler üzerinde yer aldığını söyleyen sicim kuramı senaryoları var. Böyle bir konfigürasyonda yaşam, ilave boyutların geniş olmasına uyum sağlayabilir. Negatif kozmolojik sabite sahip farazi evrenler, ayrıca bizim evrenimizde bulunmayan bir simetriye de sahiptir: süpersimetri. Süpersimetri karmaşık yapıların ortaya çıkmasını engelleyebilir; ancak bu kuramların bir kısmı süpersimetrinin kendiliğinden kırılmasına ve yaşamın ortaya çıkmasına imkân veriyor olabilir. Negatif kozmolojik sabite sahip sicim kuramlarının sayısı pozitif kozmolojik sabite sahip kuramlardan sonsuz kez fazla olduğu sürece, ilk gruptaki evrenlerin çok küçük bir kısmı bile yaşamı destekliyorsa, bunlar ikinci gruptakilere ağır basacaktır. Bu konu hakkında yaptığımız sohbetler için Ben Freivogel'e teşekkürler.

18. En iyi ihtimalle, diğer evrenlerle bizim evrenimiz arasında geçmişte meydana gelmiş çarpışmaların etkisini saptayabiliriz. Bu olasılık incelenmiş ve tek taraflı öngörülere neden olduğu görülmüştür. Yani diğer evrenlerin evrenimize çarptığı şeklinde yorumlanabilecek ilginç bir gözlem yapılması mümkündür ama (şimdiye kadar olduğu gibi) hiçbir şey görmememiz hipotezin çürütüldüğü anlamına gelmemektedir. Stephen M. Feeney *ve ark.*, "First Observational Tests of Eternal Inflation; Analysis Methods and WMAP 7-Year Results," arXiv:1012.3667v2 [astro-ph.CO] (2011); ve Anthony Aguirre & Matthew C. Johnson, "A Status Report on the Observability of Cosmic Bubble Collisions," arXiv:0908.4105v2 [hep-th] (2009) ve 2011 *Rept. Prog. Phys. 74:074901.*

19. Steven Weinberg, "Anthropic Bound on the Cosmological Constant," *Phys. Rev. Lett.* 59:22, 2607-10 (1987).

20. Planck ölçeği birimleriyle.

21. Adam G. Riess *ve ark.*, "Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant," *Astron. Jour.* 116, 1009–38 (1998).

22. Weingberg'in savının diğer evrenlerin varlığı hipotezini kanıtladığı iddiasını değerlendirirken şu hatalı akıl yürütmeden kaçınmak gerekir: kozmolojik sabitin olağanüstü derecede küçük bir değer almış olması, tek başına, evrenimizin her birinde kozmolojik sabitin gelişigüzel bir şekilde seçildiği dev bir koleksiyondaki evrenlerden biri olduğu önerisini kanıtlamaz. Bu akıl yürütme, filozof Ian Hacking'in ortaya attığı ters kumarbaz yanılgısındaki akıl yürütmeyi andırır. Farz edelim ki yeni girdiğiniz bir odada birinin attığı zarların düşeş geldiğini görüyorsunuz. Zarların daha önce birçok defa atıldığı ya da birçok yerde eşzamanlı olarak atıldığı düşüncesi aklınızı çelebilir, ancak bunlar hatalı sonuçlar olacaktır, çünkü düşeş gelme olasılığı her seferinde aynıdır. Hacking, buna ters kumarbaz yanılgısı der; Ian Hacking, "The Inverse Gambler's Fallacy: The Argument from Design. The Anthropic Principle Applied to Wheeler Universes." *Mind* 96:383 (July 1987), s. 331-340. doi:10.1093/mind/XCVI.383.331. John Leslie, yaşama uygun bir evrende bulunmamız şart olduğundan, bu yanılgının insancı sav için geçerli olmadığını söyleyerek itiraz etmişti: *Mind* 97:386 (April 1988), s. 269-272, doi:10.1093/mind/XCVII.386.269). Ama Weinberg'in savı, gerektiği gibi, yaşama uygunluk hakkında değil, yalnızca evrenin gökadalarla dolu olup olmadığı hakkındadır. Yalnızca tek bir gökadanın oluştuğu bir evrende bulunsaydık da canlı olabilirdik. Yani evrenin gökadalara dolu olması yaşam açısından gerekli değildir.

23. Jaume Garigga ile Alex Vilenkin, bu iki sabitin belirli bir kombinasyonunun Weingberg'in savına uygulanmasının daha başarılı olduğuna dikkat çekmiştir: söz konusu kombinasyon, kozmolojik sabiti dalgalanma büyüklüğünün küpüne bölerek elde edilir ("Anthropic Prediction for Lambda and the Q Catastrophe," arXiv:hep-th/0508005v1 (2005)). Ama söz konusu işlem iki soruna yol açar: Birincisi, dalgalanma büyüklüğünü belirleyen nedir? İkincisi, yalnızca kozmolojik sabit dikkate alındığında savın başarılı olduğunu zaten biliyorduk. İki sayının deneyebileceğimiz birçok kombinasyonu vardır; bir kombinasyonun diğerlerinden daha başarılı olması şaşırtıcı değildir ve lehinde bazı savlar olsa da bu evrenimizin devasa bir çoklu evrenin parçası olduğu hipotezi için bir kanıt oluşturmamaktadır.

24. Michael L. Graesser, Stephen D. H. Hsu, Alejandro Jenkins & Mark B. Wise, "Anthropic Distribution for Cosmological Constant and Primordial Density Perturbations," hep-th/0407174, *Phys.Lett.* B600, 15-21 (2004).

25. Kozmolojik sabitin değerine ilişkin Weinberg'inkinden çok farklı bir açıklama, Rafael Sorkin ve arkadaşları tarafından, nedensel kümeler kuramı temelinde verilmiştir: Maqbool Ahmed *ve ark.*, "Everpresent Lambda," arXiv:astro-ph/0209274v1 (2002).

Kuantum Mekaniği ve Atomun Serbest Kalması

1. Kuantum kuramının evrene uygulanmasına imkân veren alternatif görüşler vardır. Bunları başarısız bulma nedenlerim elektronik ortamdaki eklerde açıklanmıştır.

2. Sıradan parçacıklar için momentum, kütlelerinin hızları ile çarpılması sonucunda elde edilir. Birbiriyle bağdaşmayan ölçümlerin bir başka açıklaması, konum ne kadar ke-

sin ölçülürse momentumun, momentum ne kadar kesin ölçülürse de konumun ölçümündeki kesinlik o oranda azalır diyen belirsizlik ilkesidir.

3. Daha teknik bir açıklama için bkz. Lee Smolin, "Precedence and Freedom in Quantum Physics," arXiv:1205.3707v1 [quant-ph] (2012).

4. Charles Sanders Peirce, "A Guess at the Riddle," *The Essential Pierce, Selected Philosophical Writings*, ed. Nathan Houser & Christian Kloesel (Bloomington IN: Indiana University Press, 1992), s. 277. Peirce'ın yazıları nadiren kolay anlaşılır, bu nedenle Standford Encyclopedia of Philosophy'deki özet aşağıda alıntılanmıştır (http://plato.stanford.edu/entries/peirce/#anti):

Doğanın alışkanlıklar evrimleştirme ve edinme yollarından biri, Peirce tarafından istatistiksel analiz kullanılarak bazı deneysel denemeler aracılığıyla incelenmiştir. Peirce'ın çalışmasında, daha sonra yapılan denemelerin sonuçlarına ilişkin olasılıklar, daha önce yapılan denemelerin sonuçlarından bağımsız değildi; bu tür denemeler "Bernoulli tipi olmayan denemeler" adıyla bilinir. Peirce, doğada belirli bir birincil alışkanlık, ufak alışkanlıklar edinmeye yönelik hafif bir eğilim olduğunu farz edersek, uzun dönemde bunun yüksek derecede düzenlilik ve büyük makroskobik kesinlik ile sonuçlanacağını gösterdi. Bu nedenle, Peirce uzak geçmişte doğanın şimdikinden çok daha özgür olduğunu, doğada gördüğümüz tüm alışkanlıkların, genel olarak ve tamamıyla evrim sonucunda ortaya çıktığını ileri sürdü. Fikirler, coğrafi oluşumlar ve biyolojik türler gibi, doğanın alışkanlıkları da evrim geçirmiştir.

5. John Conway & Simon Kochen, "The Free Will Theorem," *Found. Phys.*, 36:10, 1441 (2006).

6 Eksik bırakmamak adına belirtmem gerekir ki bazı fizikçilerin bu sava tepkisi, gözlemcilerin neyi ölçeceklerini seçme serbestisine sahip olmadıklarını söyleyen güçlü bir determinizm tipini desteklemek olmuştur. Bu "süperdeterminist" bakış açısına göre, deneyin uzak geçmişinde, gözlemciler tarafından yapılan seçimlerle atomlar tarafından yapılan seçimler arasında deneyden çok daha önce belirlenmiş karşılıklı bir ilişki bulunduğunu düşünebiliriz. Bu varsayım kapsamında, Conway ve Kochen'in teoreminin sonuçlarını da Bell'in teoremini de reddedebiliriz.

7. Lucien Hardy, "Quantum Theory from Five Reasonable Axioms," arXiv:quant-ph/0101012v4 (2001).

8. Lluis Masanes & Markus P. Mueller, "A Derivation of Quantum Theory from Physical Requirements," arXiv:1004.1483v4 [quant-ph] (2011). İlgili çalışmalar Borivoje Dakic ile Caslav Brukner tarafından yapılmıştır: "Quantum Theory and Beyond: Is Entanglement Special?" arXiv:0911.0695v1 [quant-ph] (2009).

9. Markus Müller'in bu konuda sürdürdüğü ilgi çekici bir çalışması vardır.

Görelilik ve Kuantum Arasındaki Savaş

1. De Broglie'nin çalışmalarına ilişkin ayrıntılı bir tartışma ile 1927 tarihli makalesinin İngilizceye çevirisi için bkz., arXiv:quant-ph/0609184v2 (2009) adresinden ulaşabileceğiniz Guido Bacciagaluppi & Antony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference* (New York: Cambridge University Press, 2009).

2. Bkz. John S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics: Collected Papers on Quantum Philosophy* (New York: Cambridge University Press, 2004).

3. John von Neumann, *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* (Berlin, Julius Springer Verlag, 1932), s. 167 ve devamı ya da *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, R. T. Beyer, çev. (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1996).

4. Grete Hermann, "Die Naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik," *Abhandlungen der Fries'schen Schule* (1935).

5. David Bohm, *Quantum Theory* (New York: Prentice Hall, 1951).

6. ———," A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of 'Hidden' Variables. II," *Phys. Rev.*, 85:2,180-93 (1952).

7. Antony Valentini, "Hidden Variables and the Large-scale Structures of Space-Time," *Einstein, Relativity and Absolute Simultaneity*, ed. W. L. Craig & Q. Smith (London: Routledge, 2008), s. 125-55.
8. Lee Smolin, "Could Quantum Mechanics Be an Approximation to Another Theory?" arXiv:quant-ph/0609109v1 (2006).
9. Albert Einstein, "Remarks to the Essays Appearing in This Collective Volume," *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, ed. P. A. Schilpp (New York: Tudor, 1951), s. 671.
10. Daha teknik bir açıklama için bkz. Lee Smolin, "A Real Ensemble Interpretation of Quantum Mechanics," arXiv:1104.2822v1 [quant-ph] (2011).

Zamanın Görelilikten Yeniden Doğuşu

1. Elbette blok evren resmi yasaların zamanla değiştiği fikrini de kapsamına alabilir ama benim iddiam, yasaların nasıl ve neden değiştiğini açıklayamayacağı yönünde.
2. Esir kavramının Michelson-Morley deneyi ile yıkıldığı düşünülebilir ama Einstein'ın 1905'teki makalesinden önce kimse bunu fark edememişti.
3. Bu yöndeki sav, basit seviyede geometri bilgisi gerektirir ama okuru bununla sıkmayacağım. İlgili açıklamayı genel görelilik hakkındaki tüm ders kitaplarında bulabilirsiniz.
4. Bu özel gözlemciye göre, kuzeye doğru hareket ettiğinizi düşünün. Kuzeyden size doğru gelen KMF'nin, Doppler etkisi sonucunda maviye kaydığını, bu nedenle her fotonun enerjisinin yükseldiğini ve kuzeyden gelen fotonların sıcaklığının arttığını göreceksiniz. Güneyden gelen KMF fotonları ise tam aksi biçimde etkilenir; frekansları kırmızıya kayar ve sıcaklıkları azalır. Dolayısıyla kozmik mikrodalga fonuna göre hareket ettiğiniz sonucuna varabilirsiniz. Tersine, sıcaklığın her yönde aynı olduğunu gören gözlemci ise KMF'ye göre hareketsiz olduğu sonucuna varabilir.
5. Geçtiğimiz yıllarda, ışık hızının yüzde 99,999'uyla hareket eden protonları gözlemlemek suretiyle görelilik ilkesinin geçerliliğini uç şartlar altında test eden deneyler yapılmıştır. Bu inanılmaz hızda görelilik etkileri o kadar önemlidir ki protonların taşıdığı enerji, kütlelerinden kaynaklanan enerjinin 10 milyar katıdır. Bu gözlemler, görelilik ilkesinin çöktüğünü gösterseydi şaşırmayacaktım, çünkü yaklaşık bu enerji seviyelerinde böyle bir bozulma öngören bazı kuantum kütleçekimi yaklaşımları ortaya atılmıştır. Yakın dönemde yapılan başka gözlemler, tüm fotonların aynı hızda hareket ettiğini söyleyen ilkeyi test etmiş ve bunu doğrulamıştır. Söz konusu gözlemlerin hassasiyeti, birlikte hareket eden iki foton arasında 10 milyar yılda oluşacak bir saniyelik farkı saptayabilecek kadar yüksektir. Bu sonuçlar, kuantum kütleçekim etkileri nedeniyle ışık hızının fotonun taşıdığı enerjiyle orantılı bir şekilde değişeceğini uman kuramcıları hayal kırıklığına uğratmıştır. Başka bir grup gözlem de nötrinoların ışıkla aynı hız sınırına sahip olduğunu yüksek bir hassasiyet derecesiyle doğrulamıştır (2011 yılında henüz kesinleşmeden tüm dünyadaki manşetlerde yer bulan ışıktan hızlı nötrinolara dair raporların aksine).
6. Genel görelilikte tercih edilen bir zaman kavramına ilişkin başka tanımlar da önerilmiştir. Hangisinin doğru olduğu sonuçta başka gelişmeler, hatta belki deneyler tarafından yanıtlanacak bilimsel bir sorudur. Dolayısıyla tercih edilen bir zaman kavramı olduğunu varsayıp bu mefhumun hangisi olduğu sorusunu şimdilik yanıtsız bırakabiliriz. Diğer öneriler arasında şunlar sayılabilir: Chopin Soo & Hoi-Lai Yu, "General Relativity Without Paradigm of Space-Time Covariance: Sensible Quantum Gravity and Resolution of the Problem of Time," arXiv:1201.3164v2 [gr-qc] (2012); Niall Ó Murchadha, Chopin Soo & Hoi-Lai Yu, "Intrinsic Time Gravity and the Lichnerowicz-York Equation," arXiv.1208.2525v1 [gr-qc] (2012); ve George F. R. Ellis & Rituparno Goswami, "Space Time and the Passage of Time," arXiv:1208.2611v3 (2012).
7. Henrique Gomes, Sean Gryb, & Tim Koslowski, "Einstein Gravity as a 3D Conformally Invariant Theory," arXiv:1010.2481v2 [gr-qc] (2011).

8. Teknik nedenlerle bu AdS/CFT denkliği olarak bilinir.
9. Şekil dinamiğine ilişkin daha fazla bilgi için elektronik ortamdaki eklere bakınız.
10 Bu bölümde daha önce genel göreliliğin bazı simetrik çözümlerinde tercih edilen bir hareketsizlik durumu ve dolayısıyla tercih edilen bir zaman olduğundan bahsetmiştim. Burada ise farklı bir şeyden bahsediyorum. Daha önceki durum özel çözümlerle sınırlıydı; öte yandan, şekil dinamiğindeki tercih edilen zaman geneldir ve simetriye sahip olmayan uzay-zamanlarda bile mevcuttur. Uzay-zaman üzerinde zayıf bir kısıtlama bulunur: sabit ortalama eğrilik dilimi olarak bilinen bir özelliğe sahip olması gereklidir; bunun kuramın kozmolojik uzay-zamanlara uygulanmasına engel olmayacağı düşünülmektedir. Bu zaman kavramı evrenseldir ve kütleçekim alanı ile madde tarafından dinamik bir şekilde belirlenir. Bu yüzden, Newton'un mutlak zamanına geri dönmek anlamına gelmez. Kabaca açıklamak gerekirse, seçilen uzay-zaman dilimleri asgari eğriliğe sahiptir. Sabun köpüklerinin eğriliklerini asgari seviyeye indiren şekli almaları gibi, uzay-zamanın ayrıldığı dilimler de eğriliklerini asgari seviyeye indirebilmektedirler.

Uzayın Ortaya Çıkışı

1. Gerçi ne kadar kara tahta alanına ihtiyacımız olduğunu söylediğimizde mimarlık şirketimiz Saucier + Perrote, her tarafına yazı yazabilmemiz için tüm binayı arduaz ve cam ile kaplamayı önermişti.
2. Yakın tarihli bir inceleme için bkz., J. Ambjørn *ve ark.,* "Nonperturbative Quantum Gravity," arXiv:1203.3591v1 [hep-ph] (2012); "Emergence of a 4-D world from Causal Quantum Gravity", *Phys.* Rev. Lett. 93 (2004) 131301 [hep-th/0404156].
3. Fotini Markopoulou, "Space Does Not Exist, So Time Can," arXiv:0909.1861v1 [gr-qc] (2009).
4. Tomasz Konopka, Fotini Markopoulou & Lee Smolin, "Quantum Graphity," arXiv:hep-th/0611197v1 (2006); Tomasz Konopka, Fotini Markopoulou & Simone Severini, "Quantum Graphity: A Model of Emergent Locality," arXiv:0801.0861v2 (2008); Alioscia Hamma *ve ark.,* "A Quantum Bose-Hubbard Model with Evolving Graph as Toy Model for Emergent Spacetime," arXiv:0911.5075v3 [gr-qc] (2010).
5. Petr Horava, "Quantum Gravity at a Lifshitz Point," arXiv:0901.3775v2 [hep-th] (2009).
6. T. Banks *ve ark.,* "M Theory as a Matrix Model: A Conjecture," arXiv:hep-th/9610043v3 (1997).
7. Uzmanlar, uzay-zaman diffeomorfizmleri altında değişmez olmadıklarından, hacmin ve alanın fiziksel gözlenebilir nicelikler olmadığını söyleyebilir. Ancak difeomorfizmlerin sabitlendiği bir sınıra ait özellikler olmaları ya da zaman ayarının sabitlenmiş olması halinde fiziksel olabilir ve bir Hamilton operatörü tarafından üretilen fiziksel bir evrim betimlemesinin ortaya çıkmasına yol açabilirler.
8. Örneğin, bkz., Aurelien Barrau *ve ark.,* "Probing Loop Quantum Gravity with Evaporating Black Holes," arXiv:1109.4239v2 (2011).
9. Hangi zaman mı? Herhangi bir zaman tanımı! Halka kuantum kütleçekiminde zaman keyfidir çünkü bu kuram, çok parmaklı niteliğinin bir sonucu olarak zamanı istediğiniz gibi seçilebileceğiniz genel göreliliğin kuantize edilmiş hâlidir.
10. Halka kuantum kütleçekimine yönelik orijinal yaklaşımda, grafiğin yalnızca en basit özelliklere sahip üç boyutlu bir uzayda yer aldığı kabul edilir. Ölçülebilen hiçbir şey (uzunluk, alan ya da hacim gibi) sabit değildir. Ama uzay boyutlarının sayısı da uzayın bağlanabilirliği, yani topolojisi de sabittir. ("Topoloji" derken uzayın genel hatlarıyla nasıl birbirine bağlı olduğundan bahsediyoruz; bir şeyi kesmeden şeklini değiştirirseniz topolojisi aynı kalır.)
Topoloji, en iyi şekilde örneklerle açıklanır ve iki boyutlu olarak göz önüne getirilmesi daha kolaydır. İki boyutlu, kapalı bir yüzey düşünün. Bir küre ya da torus (simit) biçiminde olabilir. Bir küreye zarar vermeden çok çeşitli şekiller verebilirsiniz ama bir torusa dönüştüremezsiniz. Diğer iki boyutlu yüzey topolojileri birçok deliğe sahip simitleri andırabilir.

Uzayın topolojisini saptadıktan sonra bu topolojiye bir grafiği gömmenin farklı yollarını ele alabiliriz. Örneğin, grafiğin kenarları düğümlenebilir ya da örülebilir ya da başka şekillerde birbirine bağlanabilir. Grafiği uzaya gömmeye yönelik her yol, farklı bir kuantum geometri durumuna yol açar (ancak kuantum kütleçekimi alanındaki çağdaş çalışmaların çoğunda grafikler tanımlanırken gömmeye herhangi bir şekilde atıf yapılmaz).

11. Örneğin, bkz., Muxin Han & Mingyi Zhang, "Asymptotics of Spinfoam Amplitude on Simplicial Manifold: Lorentzian Theory," arXiv:1109.0499v2 (2011); Elena Magliaro & Claudio Perini, "Emergence of Gravity from Spinfoams," arXiv:1108.2258v1 (2011); Eugenio Bianchi & You Ding, "Lorentzian Spinfoam Propagator," arXiv:1109.6538v2 [gr-qc] (2011); John W. Barrett, Richard J. Dowdall, Winston J. Fairbairn, Frank Hellmann, Roberto Pereira, "Lorentzian Spin Foam Amplitudes: Graphical Calculus and Asymptotics," arXiv:0907.2440; Florian Conrady & Laurent Freidel, "On the Semi- classical Limit of 4d Spin Foam Models," arXiv:0809.2280v1 [gr-qc] (2008); Lee Smolin, "General Relativity as the Equation of State of Spin Foam," arXiv:1205.5529v1 [gr-qc] (2012).

12. Teknik olarak, bir 3-manifold üçgenlemesinin eşleği.

13. Bkz., Fotini Markopoulou & Lee Smolin, "Disordered Locality in Loop Quantum Gravity States," arXiv:gr-qc/0702044v2 (2007).

14. Bu fikir, yıllardır aralıklarla üzerinde çalıştığım bir araştırma programını tanımlar. Bkz., Markopoulou & Smolin, "Quantum Theory from Quantum Gravity," arXiv:gr-qc/0311059v2 (2004). Ayrıca bkz., Julian Barbour & Lee Smolin, "Extremal Variety as the Foundation of a Cosmological Quantum Theory," arXiv:hep-th/9203041v1 (1992);
Lee Smolin, "Matrix Models as Nonlocal Hidden Variables Theories," arXiv:hep-th/0201031v1 (2002);
———, "Quantum Fluctuations and Inertia," *Phys. Lett. A*, 113:8, 408–12 (1986);
———, "On the Nature of Quantum Fluctuations and Their Relation to Gravitation and the Principle of Inertia," *Class. Quant. Grav.* 3:347–59 (1986);
———, "Stochastic Mechanics, Hidden Variables and Gravity," *Quantum Concepts in Space and Time*, ed. R. Penrose & C. J. Isham (New York: Oxford University Press, 1986);
———, "Derivation of Quantum Mechanics from a Deterministic Nonlocal Hidden Variable Theory. 1. The Two-Dimensional Theory," IAS ön baskı, Temmuz 1983. http:// inspirehep.net/record/191936.

15. Chanda Prescod-Weinstein & Lee Smolin, "Disordered Locality as an Explanation for the Dark Energy," arXiv:0903.5303v3 [hep-th] (2009).

16. Karanlık madde, ışık salmayan ancak gökadaların dönüşünü Newton yasaları temelinde açıklamak için gerekli olan varsayımsal bir tür maddedir.

17. Lee Smolin, "Fermions and Topology," arXiv:gr-qc/9404010v1 (1994).

18. C. W. Misner ve J. A. Wheeler, *Ann. Phys.* (U.S.A.) 2, 525-603 (1957), yeniden basım *Wheeler Geometrodynamics* (New York: Academic Press, 1962).

19. Fotini Markopoulou, "Conserved Quantities in Background Independent Theories," arXiv:gr-qc/0703027v1 (2007).

20. Francesco Caravelli & Fotini Markopoulou, "Disordered Locality and Lorentz Dispersion Relations: An Explicit Model of Quantum Foam," arXiv:1201.3206v3 (2012); Caravelli & Markopoulou, "Properties of Quantum Graphity at Low Temperature," arXiv:1008.1340v3 (2011); Caravelli *ve ark.*, "Trapped Surfaces and Emergent Curved Space in the Bose-Hubbard Model," arXiv:1108.2013v3 (2011); Florian Conrady, "Space as a Low-temperature Regime of Graphs," arXiv:1009.3195v3 [gr- qc] (2011). Geometri oluşumuna ilişkin bir başka yaklaşım için bkz., João Magueijo, Lee Smolin, & Carlo R. Contaldi, "Holography and the Scale-Invariance of Density Fluctuations," arXiv:astro-ph/0611695v3 (2006).

21. Grafikler ile üçgenlemeler arasında yakın bir ilişki vardır. Herhangi bir üçgenleme

için üçgen piramitleri düğümlerle temsil eden bir grafik çizebilir, iki üçgen piramirtin bir yüzeyi yapışık ise karşılık gelen iki düğümü bir kenar ile bağlayabilirsiniz.

22. R. Loll, J. Ambjørn, K. N. Anagnostopoulos, "Making the Gravitational Patlı Integral More Lorentzian, or: Life Beyond Liouville Gravity," arXiv:hep-th/9910232, Nucl.Phys.Proc.Suppl. 88, 241–244 (2000)'den alınan şekil, bir uzay ve bir zaman boyutuna sahip bir kuantum evrenini göstermektedir. Kullanım izni alınmıştır.

23. Alioscia Hamma *ve ark.*, "Lieb-Robinson Bounds and the Speed of Light from Topological Order," arXiv:0808.2495v2 (2008).

Evrenin Yaşamı ve Ölümü

1. Richard Dawkins, *Climbing Mount Improbable* (New York: W. W. Norton, 1996).
2. Dalgalanma, fizikçilerin kullandığı, bilim insanı olmayan okurların aklını karıştırabilecek kelimelerden biridir. Dalgalanma, bir sistemin küçük bir parçasında meydana gelen ufak, rastlantısal bir değişikliktir. Fırçadan düşen bir damla boyanın dikkatle yapılmış bir portreyi bozması gibi, bir dalgalanma da sistemlerin düzenini bozabilir. Ama bir DNA molekülündeki rastlantısal değişiklikten kaynaklanan mutasyonun, daha uyumlu bir hayvana yol açması örneğinde olduğu gibi, bir dalgalanma, daha yüksek bir düzen seviyesinin kendiliğinden ortaya çıkmasına da neden olabilir.
3. Organik (ya da prebiyotik) moleküllerin yalnızca Dünya'da değil meteoritlerde, kuyrukluyıldızlarda ve yıldızlararası toz ve gaz bulutlarında da saptanmış olması ilgi çekicidir.
4. Çünkü 1'in logaritması sıfırdır. Teknik nedenlerle genellikle entropiyi eşdeğer mikro durum sayısının logaritması olarak kabul ederiz.
5. "Uber die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen," *Ann. der Phys.* 17 (8): 549-60 (1905).
6. Martin J. Klein, *Paul Ehrenfest: The Making of a Theoretical Physicist* (New York: Elsevier, 1970).
7. Örneğin, bkz., Martin Amis'in *Time's Arrow* isimli kitabı ya da F. Scott Fitzgerald'ın bir kısa hikâyesinden uyarlanan film, *Benjamin Button'ın Tuhaf Hikâyesi.*
8. Zamanın elektromanyetik okunun taşıdığı önem konusunda beni ikna ettiği tartışmalar için Waterloo Üniversitesi'nden Steven Wienstein'a teşekkürler. 2011 tarihli makalesi, "Electromagnetism and Time-Asymmetry," arXiv:1004.1346v2, izleyen kısmı ciddi ölçüde etkilemiştir.
9. Roger Penrose, "Singularities and Time-Asymmetry," S. W. Hawking & W. Israel, ed., *General Relativity: An Einstein Centenary Survey* (Cambridge, U. K.: Cambridge University Press, 1979), s. 581-638.
10. Birçok fizikçi ve filozof, zamanın gerçekten birkaç farklı oku olup olmadığını merak etmiştir. Okların biri ya da daha fazlası diğer oklar sayesinde açıklanabilir mi? Zamanın kozmolojik oku muhtemelen diğer oklarla ilişkili değildir.

    Kütleçekimi ile birbirine bağlanmış yapıların ortaya çıkmasına fırsat vermeyecek kadar hızla genişleyen bir evren hayal etmek kolaydır. Böyle bir evren sonsuza kadar dengede kalacak ve dolayısıyla zamanın termodinamik okuna sahip olmayacaktır. Bu nedenle evrenin genişlemekte olması, tek başına, zamanın termodinamik okunu açıklamak için yeterli değildir.

    Ayrıca azami bir boyuta ulaşana kadar genişleyip daha sonra çöken bir evren de hayal edilebilir. Şimdilik bildiğimiz kadarıyla içinde yaşadığımız evren böyle değildir ama genel görelilik denklemlerinin bu şekilde davranan çözümleri vardır. Bu evrende, evrenin ömrü yarıladığında zamanın kozmolojik oku tersine döner. Acaba bu durumda termodinamik ok da tersine döner ve dökülen süt birden kendi kendine temizlenir ve Humpty Dumpty de kendi kendine yeniden birleşir mi? Bilim-kurgu yazarları böyle olduğunu hayal etmekten zevk duyar, ancak bu hiç olmayacak bir şeydir.

    Ama zamanın biyolojik oku pekâlâ termodinamik okun bir sonucu olabilir. İddiaya göre, yaşlanmamızın nedeni hücrelerimizde biriken düzensizliktir. Termodinamik

okun deneyimsel oku da en azından kısmen açıkladığı kabul edilir. Geleceği değil geçmişi hatırlarız, çünkü hafıza bir düzen türüdür ve düzen geleceğe doğru azalır, yani en azından iddia böyledir.

Son olarak, termodinamik oku başlangıç koşullarının seçimine indirgemek mümkün müdür? Bu öneri, Penrose'a aittir. Penrose, başlangıçta kara veya beyaz deliklere sahip olmayan bir evrende gelişigüzel bir şekilde kara ve beyaz deliklerle doldurulmuş bir evrene göre daha az entropi bulunacağı için öne sürdüğü Weyl eğriliği hipotezinin zamanın termodinamik okunu açıklayabileceğini ileri sürmüştü. Penrose, burada Jacob Bekenstein tarafından 1972'de ortaya konan ve kısa süre sonra da Stephen Hawking tarafından geliştirilen şaşırtıcı bir gerçeğe, kara deliklerin entropiye sahip olduğu fikrine dayanır. Kara delikler devasa miktarda entropiye sahiptir çünkü yapabileceğiniz en geri dönüşsüz şey bir cismi karadeliğe göndermektir. Evrende başlangıçta bulunması mümkün olduğu halde bulunmayan tüm kara deliklerdeki devasa entropi miktarı ile karşılaştırıldığında, başlangıçta kara delikler bulundurmayan şimdiki evrenimiz, oluştuğunda aslında neredeyse asgari seviyede entropiye sahipti.

Evrenin kütleçekimiyle bağlanan yapıların oluşmasına fırsat verecek kadar yavaş ve düzgün bir şekilde genişlemesi gerektiğini söyleyen koşula uyduğumuz sürece, Penrose'un önerisi başarılıdır. Bu açıdan bakıldığında, karmaşık bir evren ihtimali son derece düşüktür, çünkü başlangıç koşullarının çoğu dengede başlayan ve böyle devam eden bir evrene yol açacaktır. Evren, başlangıçtan beri var olan ve geçmişten ya da gelecekten görüntüler taşımayan ışık ve kütleçekimi dalgalarıyla dolu olacaktır. Kara veya beyaz delikler en baştan hâkimiyet kuracaktır. Zaman açısından simetrik yasalarla yönetilen bir doğada, neden karmaşık bir evrende yaşadığımız sorusunun yanıtı, temel olarak, son derece düşük olasılıklı bir şekilde zaman açısından asimetrik başlangıç koşullarının seçilmiş olmasına bağlıdır.

11. Zaman açısından asimetrik temel yasa, efektif bir kuram bağlamında, düşük enerji seviyeleri ve uzay-zaman eğriliğinin yüksek olmadığı bölgeler için zaman açısından simetrik yasalara yol açmak zorundadır. Dolayısıyla, çok erken evrende zaman asimetrisi çok belirgin olacak, zaman açısından son derece asimetrik kozmolojik başlangıç koşullarına neden ihtiyaç duyulduğu da böylece açıklanacaktır.

12. Evrenin bir bütün olarak sahip olduğu, küçük alt sistemlerinde bulunmayan özelliklerden bahsettiğimize dikkatinizi çekerim. Olasılığı evrenin küçük alt sistemleri ya da kısımları için daima uygulayabiliriz ama evren hakkında bilmek istediklerimiz bu sistemlerden ibaret değildir.

13. Elbette sonsuz zamanımız varsa her büyüklükteki dalgalanma sonsuz kez tekrarlanır. Bu durum, daha ender dalgalanmalar daha az sayıda meydana gelir demeyi biraz zorlaştırır, çünkü iki sonsuz sayının birbirine oranı tanımsızdır.

Zamanın Isı ve Işıktan Yeniden Doğuşu

1. Okur, Leibniz'in ayırt edilemeyenlerin özdeşliği ilkesinin, bozonların aynı kuantum durumunu paylaşmasına izin veren ve bunu teşvik eden Bose istatistiğine aykırı olup olmadığını sorabilir. Ayrıntılarını elektronik ortamdaki eklerde bulabileceğiniz kısa bir yanıt şöyledir: Leibniz'in ilkesi, iki olayın kuantum alanlarına ilişkin aynı beklenen değere sahip olmasını yasaklar.

2. 10. Bölüm'de de belirttiğim gibi, bu durum, evrenin kusursuz biçimde simetrik olmasını yasaklar.

3. Kendini düzenleme hakkında daha fazla bilgi için kaynakçadaki Bak, Kauffman ve Morowitz tarafından kaleme alınmış kitaplara bakınız. Güdümlü kendini düzenleme ilkesinin bir versiyonu Morowitz'in kitabında betimlenen döngü kuramı, bir başkası da Bak'ın kitabında betimlenen kendini düzenlemiş kritikliktir.

4. Julian Barbour and Lee Smolin, "Variety, Complexity and Cosmology," hep-th /9203041

5. Alan Turing, "The Chemical Basis of Morphogenesis," *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* 237:641, 37-72 (1952).

Sonsuz Uzay mı, Sonsuz Zaman mı?

1. Akıllara durgunluk verse de bu fikri destekleyen basit bir sav bulunmaktadır. Ayrıntılar için Brian Greene'in son kitabı, "*The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos*" (New York: Knopf, 2011) ya da elektronik ortamdaki eklere bakabilirsiniz.
2. İki boyutlu düz bir düzlem hayal edin. Bir nokta seçin, sonra o noktadan uzaklaşan bir yön belirleyin. Bu, düzlem içerisinde bir doğru tanımlar. Bu doğruyu gittiği yere kadar takip edin. Doğru, sonsuz bir uzunluğa sahiptir ama bir matematikçinin gözünde yine de bir yere gider. Gittiği yere *sonsuzdaki nokta* adı verilir. İlk noktadan çıkan bir başka yön belirleyin. Başka bir doğru elde edersiniz. Bu doğruyu da sonuna kadar takip edin; başka bir sonsuzdaki noktaya ulaşırız. Sonsuzdaki noktalar, bir çember oluşturur. Bir düzlem üzerindeki bir noktadan uzaklaşan yönler bir çemberi tanımlar. Bu yönleri gittikleri yere kadar izlediğinizde, sonsuzdaki noktalardan oluşan sınıra ulaşırsınız. Aynı şey üç boyutlu düz uzayda da geçerlidir, ancak sonsuzdaki noktalar bir küre oluşturur. Anlatılanlar uzay sonsuz ama bir semer gibi negatif eğriliğe sahipse yine geçerlidir.
   Genel görelilik denklemlerini çözmek istiyorsanız bu sınırda neler olduğuna dair bilgi vermeniz gerekir. Sınırdan içeri ne girdiğini ve dışarı ne çıktığını belirtmelisiniz. Sonsuz sınırda neler olduğuna ilişkin bilgi verme şartı isteğe bağlı değildir; kuram tarafından zorunlu tutulmuştur. (Uzmanlar için: Uzaysal açıdan sonsuz bir evrene ilişkin Einstein denklemlerini varyasyonel prensipten türetebilmek için aksiyona sınır terimleri eklenmeli ve uzaysal sonsuzlukta sınır koşulları belirlenmelidir.) Sınırdan içeri nelerin girdiğini ve dışarı nelerin çıktığını söylemeden evrenin içindekileri betimleyemezsiniz. Sınır, sonsuz uzaklıkta olsa bile.
3. Genel göreliliği uygularken sonsuz sınırlara sahip uzaylar sık sık pratik yalıtılmış sistem modelleri olarak kullanılır. Bir gökada düşünün. Gerçekte evrenin ufak bir parçasıdır ama bazı nedenlerle onu yalıtılmış olarak modellemek isteyebiliriz; örneğin, merkezdeki kara deliğin gökada diskindeki yıldızlarla etkileşimini modellemek istiyor olabiliriz. Bu durumda galaksi etrafında bir sınır çizip genel görelilik denklemlerini yalnızca bu sınır içerisindekileri kapsayacak şekilde çözeriz. Ancak sonlu bir sınırda belirtmemiz gereken bilgilere dair bazı teknik güçlüklerle karşılaşırız. Bu nedenle, sırf teknik açıdan kolaylık sağlamak için durumu idealize ederek sınırı sonsuza iteriz. Böyle yapmak betimlemeyi oldukça kolaylaştırır, çünkü şimdi modeldeki tüm maddenin bu tek gökadada bulunduğu şeklinde bir koşul getirmek mümkündür. Modelimize, gökadayı gözlemlemekte kullanabileceğimiz kütleçekimi dalgaları ve ışıktan başka hiçbir şeyin girmesi ya da çıkması mümkün değildir.
   Sonsuz uzayların böyle kullanılması pragmatiktir ve herhangi bir itiraza yer bırakmaz. Sonsuz sınırdan giren bilgiyi belirtme zorunluluğu bize, evrenden kesip çıkardığımız bir parçayı var olan her şeymiş gibi betimleyerek oluşturulan idealize bir model üzerinde çalıştığımızı hatırlatır. Ancak tüm evreni bir dış sınıra sahip olacak şekilde modellemek akla uygun değildir çünkü dış sınır olması, sonsuz evrene dışarıdan giren bilgiyi belirlemeyi zorunlu kılar. Ne var ki kozmolojik kuramımız olarak genel göreliliği kullanmak ve evrende uzayı sonsuz kabul etmek istiyorsak yapmamız gereken budur.
4. Bu devirli kozmolojilere ilişkin daha fazla bilgi için bkz., Paul J. Steinhardt & Neil Turok, *Endless Universe: Beyond the Big Bang* (New York: Doubleday, 2007).
5. Martin Bojowald, "Isotropic Loop Quantum Cosmology," arXiv:gr-qc/0202077v1 (2002);
   ———, "Inflation from Quantum Geometry," arXiv:gr-qc/0206054vi (2002);
   ———, "The Semiclassical Limit of Loop Quantum Cosmology," arXiv:gr-qc /0105113v1 (2001);
   ———, "Dynamical Initial Conditions in Quantum Cosmology," arXiv:gr-qc /0104072v1 (2001) ve

Shinji Tsujikawa, Parampreet Singh & Roy Maartens, "Loop Quantum Gravity Effects on Inflation and the CMB," arXiv:astro-ph/0311015v3 (2004).

6. Jean-Luc Lehners, "Diversity in the Phoenix Universe," arXiv:1107.4551v1 [hep-ph] (2011).

7. Roger Penrose, *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe* (New York: Knopf, 2011).

8. Halkaların saptandığına ilişkin iddialar için bkz.,
V. G. Gurzadyan & R. Penrose, "CCC-Predicted Low-Variance Circles in CMB Sky and LCDM," arXiv:1104.5675v1 [astro-ph.CO] (2011);
———, "More on the Low-Variance Circles in CMB Sky," arXiv:1012.1486v1 [astro-ph.CO] (2010);
———, "Concentric Circles in WMAP Data May Provide Evidence of Violent Pre-Big-Bang Activity," arXiv:1011.3706v1 [astro-ph.CO] (2010).
Gözlemlerin gürültü ile uyumlu olduğunu öne süren birçok makale de vardır:
I. K. Wehus & H. K. Eriksen, "A Search for Concentric Circles in the 7-Year WMAP Temperature Sky Maps," arXiv:1012.1268v1 [astro-ph.CO] (2010);
Adam Moss, Douglas Scott & James P. Zibin, "No Evidence for Anomalously Low-variance Circles on the Sky," arXiv:1012.1305v3 [astro-ph.CO] (2011); ve Amir Hajian, "Are There Echoes from the Pre-Big Bang Universe? A Search for Low-Variance Circles in the CMB Sky," arXiv:1012.1656v1 (2010).

Zamanın Geleceği

1. Bu fikir, şu makaledeki bir model ile hayata geçirilmiştir: Lee Smolin, "Matrix Universality of Gauge and Gravitational Dynamics," arXiv:0803.2926v2 [hep-th] (2008).
2. ———, "Unification of the State with the Dynamical Law, arXiv:1201.2632v1 [hep-th] (2012).
3. Wheeler şöyle de demişti: "Gözlemlenene kadar hiçbir olgu gerçek bir olgu değildir." Bize bıraktığı bilmece gibi, kışkırtıcı meydan okumaları yaşlandıkça daha çok takdir ettiğimi söylemeliyim.

Sonsöz

1. Burada ve atıflarda ortaya konan görüş hakkında daha fazla bilgi için bkz., Lee Smolin, "Time and Symmetry in Models of Economic Markets," arXiv:0902.4274v1 [q-fin.GN] (2009).
2. Neoklâsik iktisada giriş için bkz., Ross M. Starr, *General Equilibrium Theory*, 2. baskı (New York: Cambridge University Press, 2011).
3. İyi tanınan üç iktisatçı tarafından 1972'de ispatlanan Sonnenschein-Mantel-Debreu teoremi ya da "her şey mümkün teoremi" bu durumu gösterir. İktisatçılardan biri Hugo Sonnenschein'dır; kendisi Chicago iktisat ekolünün üyelerinden biri olmakla kalmayıp bu üniversitenin rektörü olarak da görev yapmıştır. Hugo Sonnenschein, "Market Excess Demand Functions," *Econometrica*, 40:3, 549–63 (1972). Debreu, G. "Excess Demand Functions," *Journal of Mathematical Economics* 1: 15-21 (1974), doi:10.1016/0304-4068(74)90032-9; R. Mantel, "On the Characterization of Aggregate Excess Demand," *Jour. of Econ. Theory* 7: 348-353 (1974), doi:10.1016/0022-0531(74)90100-8.
4. W. Brian Arthur, "Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events," *Econ. Jour.* 99:394,116-31 (1989).
5. Pia Malaney, "The Index Number Problem: A Differential Geometric Approach," Harvard doktora tezi, 1996.
6. Malaney ile Weinstein'ın fikirleri, o zaman Perimeter Enstitüsü'nde doktora sonrası öğrenci olan Samuel Vazquez'i gerçek pazar verilerindeki yola bağımlılığı ölçmeye teşvik etti. Yapmaya çalıştığı şey neoklâsik iktisat kuramı bağlamında imkânsız ve sapkınca görülüyordu. Ne var ki sonuçta elde ettiği gerçek verilerin de gösterdiği gibi, başarılı uzun-kısa arbitraj stratejilerine sahip fonların varlığı pazarda gerçekten de eğ-

rilik, dolayısıyla da yola bağımlılık olduğunu ispatlamaktadır. Samuel E. Vazquez & Simone Farinelli, "Gauge Invariance, Geometry and Arbitrage," arXiv:0908.3043v1 [q-fin.PR] (2009).

7. Vince Darley & Alexander V. Outkin, *A NASDAQ Market Simulation: Insights on a Major Market from the Science of Complex Adaptive Systems* (World Scientific, 2007).

8. Kuramsal biyolog Stuart Kauffman'ın da hukuk filozofu Roberto Mangabeira Unger'in de ilgilendikleri alanın tüm olası konfigürasyonları içeren zaman dışı mutlak uzaylar bağlamında değil, komşu olasılıklar (sonraki adımlar grubu) bağlamında ifade edilmesine ihtiyaç duyduğumuzu söylemeleri, bence bu ortak algının başlangıcını oluşturuyor.

9. Bu iki ilkenin sonuçları, 2006 tarihli kitabım, *The Trouble with Physics*'in 17. Bölüm'ünde daha ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

10. Matematiğin ifade ettiği şeyin de ilişkiler olduğuna dikkatinizi çekerim. Sayıların da uzaydaki noktaların da aslında bir özü bulunmaz; bunları tanımlayan, sadece sayılar ya da noktalardan oluşan bir sistemdeki yerleridir ve onların özellikleri de diğer sayı ya da noktalarla aralarındaki ilişkilerden ibarettir. Bu ilişkiler, matematiksel bir sistemi tanımlayan aksiyomlar tarafından belirlenir. Eğer madde ilişkiler ve etkileşimlerin ötesinde bir şeyse matematiğin kapsamı dışındadır.

11. James George *Asking for the Earth* (Barrytown NY: Station Hill Press, 2002) ve *The Little Green Book on Awakening* (Barrytown NY: Station Hill Press, 2009) adlı eserlerin yazarıdır. Aynı zamanda Threshold Vakfı'nın kurucu ortaklarından biri ve Sadat Barış Vakfı'nın başkanı olup; Körfez Savaşı'nın ardından çevresel zararı değerlendirmek amacıyla Kuveyt'e giden uluslararası misyonun başkanlığını yapmıştır.

Kaynakça

Aşağıda, fizik veya kozmolojide zaman (ve ilgili konular) hakkında, ekseriyeti popüler bilim türünde ve çoğu bu sayfalarda önerdiğim fikirlere alternatif ya da bunlarla çatışan fikirler sunan kitaplardan bir seçki bulabilirsiniz.

Guido Bacciagaluppi & Antony Valentini, *Quantum Theory at the Crossroads: Reconsidering the 1927 Solvay Conference* (New York: Cambridge University Press, 2009).

Per Bak, *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality* (New York: Copernicus, 1996).

Julian B. Barbour, *The End of Time: The Next Revolution in Physics* (New York: Oxford University Press, 2000).

———, *The Discovery of Dynamics: A Study from a Machian Point of View of the Discovery and the Structure of Dynamical Theories* (New York: Oxford University Press, 2001).

J. S. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics,* 2nd ed. (New York: Cambridge University Press, 2004).

James Robert Brown, *Platonism, Naturalism, and Mathematical Knowledge* (Oxford, U.K.: Routledge, 2011).

Bernard Carr, ed., *Universe or Multiverse?* (New York: Cambridge University Press, 2007).

Sean Carroll, *From Eternity to Here: The Quest for the Ultimate Arrow of Time* (New York: Dutton, 2010).

P. C. W. Davies, *The Physics of Time Asymmetry* (San Francisco: University of California Press, 1974).

David Deutsch, *The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes*—and Its Implications (New York: Allen Lane/Penguin Press, 1997).

Dan Falk, *In Search of Time: The History, Physics and Philosophy of Time* (New York: St. Martin's, 2010).

Adam Frank, *About Time: Cosmology and Culture at the Twilight of the Big Bang* (New York: Free Press, 2011).

Rodolfo Gambini & Jorge Pullin, *A First Course in Loop Quantum Gravity* (New York: Oxford University Press, 2011).

Marcelo Gleiser, *A Tear at the Edge of Creation: A Radical New Vision for Life in an Imperfect Universe* (New York: Free Press, 2010).

Brian Greene, *The Hidden Reality: Parallel Universes and the Deep Laws of the Cosmos* (New York: Knopf, 2011).

Stephen W. Hawking & Leonard Mlodinow, *The Grand Design* (New York: Bantam, 2010).

Stuart A. Kauffman, *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity* (New York: Oxford University Press, 1995).

———, *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution* (New York: Oxford University Press, 1993).

Helge Kragh, *Higher Speculations: Grand Theories and Failed Revolutions in Physics and Cosmology* (New York: Oxford University Press, 2011).

Janna Levin, *How the Universe Got Its Spots: Diary of a Finite Time in a Finite Space* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2002).

João Magueijo, *Faster than the Speed of Light: The Story of a Scientific Speculation* (Cambridge, MA: Perseus, 2003).

Roberto Mangabeira Unger, *The Self Awakened: Pragmatism Unbound* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 2007).

Harold Morowitz, *Energy Flow in Biology*, (New York: Academic Press, 1968).

Richard Panek, *The 4-Percent Universe: Dark Matter, Dark Energy, and the Race to Discover the Rest of Reality* (Boston, MA: Houghton Mifflin Harcourt, 2011).

Roger Penrose, *Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe* (New York: Knopf, 2011).

———, *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe* (New York: Knopf, 2005).

———, *The Emperor's* New Mind: *Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics* (New York: Oxford University Press, 1989).

Huw Price, Time'*s Arrow and Archimedes'* Point: *New Directions for the Physics of Time* (New York: Oxford University Press, 1996).

Lisa Randall, *Warped Passages:* Unraveling the Mysteries of the Universe'*s Hidden Dimensions* (New York: Ecco/HarperCollins, 2005).

Carlo Rovelli, *The First Scientist: Anaximander and His Legacy* (Yardley, PA: Westholme Publishing, 2011).

Simon Saunders *ve ark.*, ed., *Many Worlds? Everett, Quantum Theory, and Reality* (New York: Oxford University Press, 2010).

Lee Smolin, *The Life of the Cosmos* (New York: Oxford University Press, 1997).

———, *Three Roads to Quantum Gravity* (New York: Basic Books, 2001).

———, *The Trouble with Physics* (Boston, MA: Houghton Mifflin Harcourt, 2006).

Paul J. Steinhardt & Neil Turok, *Endless Universe: Beyond the Big Bang* (New York: Doubleday, 2007).

Leonard Susskind, *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design* (New York: Little, Brown, 2005).

Alex Vilenkin, *Many Worlds in One: The Search for Other Universes* (New York: Hill & Wang, 2006).

Dizin

Azami serbestlik ilkesi 178, 184

Karşılıksız eylemin yokluğu ilkesi 141, 272, 273, 280

Yalıtılmış sistemlerin yokluğu ilkesi 134, 135